This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

MÉMOIRE

SUR LES

REFOULEMENTS QUI ONT PLISSÉ L'ÉCORCE TERRESTRE

ET SUR LE

ROLE DES DÉPLACEMENTS HORIZONTAUX,

PAR

Marcel BERTRAND.

T. L. — N° 2.

GEOLOGICAL SCIENCES LIBRARY

G · L

HARVARD UNIVERSITY

GEOLOGICAL SCIENCES
LIBRARY

Transferred to
CABOT SCIENCE LIBRARY
June 2005

MÉMOIRE

SUR LES

REFOULEMENTS QUI ONT PLISSÉ L'ÉCORCE TERRESTRE

ET SUR LE

ROLE DES DÉPLACEMENTS HORIZONTAUX.

PAR

Marcel BERTRAND.

PARIS,
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1908

RE

SÉ L'ÉCORCE TERRESTRE

ITS HORIZONTAUX,

RAND.

De la part de

Madame MARCEL BERTRAND

75, rue de Vaugirard

PARIS

T. L. — N° 2.

MÉMOIRE

SUR LES

REFOULEMENTS QUI ONT PLISSÉ L'ÉCORCE TERRESTRE

ET SUR LE

ROLE DES DÉPLACEMENTS HORIZONTAUX,

PAR

Marcel BERTRAND.

T. L. — N° 2.

MÉMOIRE

SUR LES

REFOULEMENTS QUI ONT PLISSÉ L'ÉCORCE TERRESTRE

ET SUR LE

ROLE DES DÉPLACEMENTS HORIZONTAUX.

CHAPITRE PREMIER.

INTRODUCTION.

But du Mémoire

Le but de ce Mémoire est de décrire les grands déplacements horizontaux sur lesquels s'est portée, dans ces dernières années, l'attention des géologues; de montrer leur rôle, très général et longtemps méconnu, dans la structure des chaînes de montagnes; d'étudier le mécanisme de leur production; enfin, de rechercher les conséquences qu'on doit en tirer et les progrès qui peuvent en résulter pour la théorie de la formation des montagnes.

L'origine des montagnes par refoulement latéral est admise en général, plutôt que prouvée.

Les montagnes sont des zones plissées de l'écorce terrestre, et ces plissements sont dus à des refoulements horizontaux, à l'écrasement de ces zones sous l'effort de pressions latérales: telle est aujourd'hui la théorie généralement admise, celle qui rend le mieux compte des faits observés. Mais ce serait une erreur de croire que cette théorie est définitivement fondée, à l'abri des objections possibles et des discussions sérieuses; l'argument nouveau qu'apporte l'étude des faits décrits dans ce Mémoire est donc loin d'être inutile à la théorie; il est destiné à en devenir désormais l'appui le plus solide; et, en dehors de l'intérêt propre qui s'attache à ces phénomènes, c'est surtout à ce point de vue que la découverte de ces grands déplacements horizontaux constitue un progrès important dans nos connaissances géogéniques.

Les arguments en sa faveur sont restés ceux qu'invoquait de Saussure : parallélisme des chaînons et retroussement des couches en C.

Si l'on cherche, en effet, quelles sont les preuves données jusqu'ici en faveur de la théorie des refoulements latéraux, on voit que ce sont précisément et uniquement celles qu'invoquait de Saussure, à la suite de ses premiers voyages d'exploration dans les Alpes, vers la fin du siècle dernier. Ces preuves sont : le parallélisme des chaînons successifs d'une même chaîne, et le « retroussement des couches en forme de C ». Ces deux faits importants, que le génie du premier explorateur sut mettre en lumière, malgré l'incertitude des données géologiques alors acquises, sont restés la base de tous les raisonnements plus récents, relatifs au même sujet. Les observations poursuivies pendant un siècle ont sans doute augmenté la portée de ces faits, à mesure qu'elles en montraient la généralité ; mais, jusqu'à ces dernières années, elles n'avaient apporté aucun argument qui ne pût se réduire aux deux premiers. Notre théorie actuelle reste celle de de Saussure, auquel souvent on n'en rapporte pas assez tout l'honneur ; elle est fondée sur les mêmes preuves et appuyée sur les mêmes raisonnements. La notion des grands déplacements horizontaux est venue pour la première fois ajouter un nouvel anneau à la chaîne de ces raisonnements.

A vrai dire, des deux faits précités, celui qui a le plus frappé de Saussure, le contournement des plis en forme de C, n'autorise pas une conclusion aussi formelle ; on peut concevoir, en effet, un pli droit ou légèrement oblique, produit par une poussée verticale et rabattu ensuite par l'action de la pesanteur. Pour avoir le droit de conclure de l'existence de ces plis à l'action d'une force horizontale, il faudrait à la rigueur avoir constaté les traces de déplacements horizontaux dans les plans des couches rabattues. Cette constatation, de Saussure ne l'a pas faite, et elle était d'ailleurs impossible avant que la connaissance détaillée des diverses couches eût permis l'étude et l'interprétation des phénomènes d'étirement. Aussi est-ce plutôt par une sorte de sentiment intuitif que par une déduction rigoureuse qu'il formule à plusieurs reprises et sans réserves ses conclusions, et que par exemple, en face des rochers de Grindelwald, où le premier, en 1771, il a observé les phénomènes si remarquables du contact des calcaires secondaires et des gneiss, il termine sa description par cette phrase : « Ce fait fournit un bel exemple des refoulements, que je considère comme la cause générale du redressement des couches originairement horizontales » (1).

De Saussure admettait lui-même que ces arguments pouvaient ne pas sembler définitifs.

De Saussure n'a jamais varié dans l'affirmation de ses opinions à ce sujet, même quand la complexité croissante des faits observés par lui, dans ses différents voyages, l'a de plus en plus prémuni contre la difficulté et le danger des généralisations (2). Mais son esprit était trop éloigné de tout dogmatisme pour qu'il n'ait pas prévu qu'un pareil problème occuperait longtemps encore les

(1) *Voyages dans les Alpes*. In-4°, Neuchâtel, 1796, t. III, art. 1677, p. 455

(2) *Voyages dans les Alpes*, t. IV, art. 2301, p. 464.

géologues; et, dans le remarquable *Agenda* qui termine son Ouvrage, dans ce « Tableau général des Observations et des Recherches dont les résultats doivent servir de base à la théorie de la Terre », il déclare que la plupart des solutions en pareilles matières « ne sont fondées que sur des analogies, dont le contraire est toujours physiquement possible »; il a soin de poser à nouveau dans toute sa généralité le problème qu'il croit bien pourtant avoir résolu, et il le fait en ces termes explicites : « Examiner si les couches présentent des indices de soulèvements ou de refoulements violents..., ou si au contraire tout, et les redressements mêmes des couches peuvent s'expliquer par des affaissements »(1).

On a pu essayer d'expliquer la structure de certaines chaînes par des affaissements, sans rencontrer d'impossibilités.

Soulèvements, refoulements, affaissements, telles sont bien encore aujourd'hui, comme au temps de de Saussure, les trois sortes d'actions que l'on peut invoquer pour expliquer les phénomènes observés dans les montagnes. Si, pour s'éclairer, on étudie le détail des faits constatés dans les diverses régions, leur complexité semble de nature à dérouter tout essai de généralisation absolue; il est incontestable, en tout cas, qu'il y a eu des mouvements de haut en bas, probablement aussi des mouvements de bas en haut, et certainement, en d'autres points, des déplacements horizontaux. Ainsi, rien n'est mieux prouvé maintenant que l'existence de certaines aires d'affaissement, à l'intérieur desquelles l'ensemble des terrains est descendu, tantôt tout d'une pièce, tantôt en se morcelant, bien au-dessous du niveau marqué par les masses qui les entourent (*Senkungsfelder* des Allemands); et pour ces aires d'affaissement, nulle autre action ne peut s'invoquer que l'action directe de la pesanteur. Pour la plupart des géologues, ce ne sont là que des phénomènes secondaires et accessoires; mais on a pu pourtant essayer d'en étendre la signification et d'expliquer par ces seules actions d'affaissement l'ensemble de la structure des montagnes; et cet essai a pu être tenté sans que, pour toute une chaîne au moins, par exemple pour les Alpes françaises, on ait rencontré de contradictions ni d'impossibilités. Dans cette manière de voir, ce sont au contraire les actions de refoulement et les mouvements qu'on leur attribue qui deviennent le phénomène accessoire et secondaire.

On peut attribuer aussi aux actions de bas en haut un rôle prédominant.

D'autres géologues, au contraire, restent frappés avant tout du niveau élevé, atteignant et dépassant 4000 mètres, auquel se trouvent portés dans les montagnes des lambeaux de terrains stratifiés, souvent même horizontaux. Dans la théorie de l'affaissement, ces lambeaux témoigneraient de l'ancien niveau des mers qui les ont déposés; il en résulterait que dans une période restreinte, pendant la seule durée des temps tertiaires, l'ensemble de la croûte terrestre, entraînant naturellement le niveau de l'Océan dans son mouvement centripète, se serait affaissé de dix kilomètres, ou, si l'on préfère, que le rayon terrestre aurait diminué de ces dix kilomètres. C'est là une conséquence devant laquelle il est

(1) *Voyages dans les Alpes*, t. IV, Chap. X, art. 2314, p. 490.

permis de reculer. On est amené ainsi à une autre théorie, qui prête aux soulèvements, c'est-à-dire aux actions de bas en haut, le rôle principal dans la formation des montagnes. Ces actions de bas en haut ne peuvent être attribuées qu'à deux causes : l'ascension des masses fondues de l'intérieur du globe, ascension dont les volcans actuels nous offrent un exemple réduit; ou, si l'observation des faits ne permet pas d'attribuer cette action soulevante aux roches éruptives, l'ascension locale du flux de chaleur interne, ou, pour parler plus exactement, des isogéothermes terrestres. Cette ascension et la dilatation qui en serait la conséquence expliqueraient les hautes saillies des chaînes, en même temps que l'expansion latérale expliquerait les refoulements. Les affaissements seuls sont alors considérés comme des phénomènes secondaires, d'importance et d'étendue restreintes.

C'est surtout le parallélisme des chaînons qui a fait prévaloir l'idée du refoulement latéral.

Ces deux théories, théorie des affaissements et théorie des soulèvements, que j'indique ici sans les discuter, peuvent rendre compte de la plupart des faits de détail; mais, quand on examine l'ensemble d'une chaîne, elles cessent de présenter à l'esprit une explication satisfaisante; le parallélisme des chaînes n'est pas incompatible avec elles, mais il n'en est une conséquence ni directe ni nécessaire. Or, ce parallélisme des chaînons est un fait trop général et trop frappant pour qu'on puisse consentir à ce que la théorie, au lieu de le prévoir, l'abandonne en quelque sorte au hasard. Si, au contraire, on suppose que des forces horizontales de refoulement ont été l'agent principal de la formation des montagnes, et que les mouvements verticaux, de bas en haut ou de haut en bas, ne sont que des composantes du mouvement d'ensemble, le parallélisme des chaînons apparaît comme une conséquence directe et nécessaire de l'hypothèse. On peut dire que c'est cette raison, entre toutes, qui a fait prévaloir la théorie du refoulement latéral.

Cette idée est d'autant plus satisfaisante qu'elle se rattache aux hypothèses cosmogoniques admises et qu'elle se prête à des vérifications expérimentales.

Il reste, il est vrai, à montrer, ce que n'avait pas fait de Saussure, comment peuvent prendre naissance ces forces horizontales, dont on invoque l'action. C'est à Élie de Beaumont que revient cet honneur; c'est lui qui a appelé l'attention sur la compression que doivent produire dans les couches superficielles le refroidissement séculaire de la planète et la contraction inégale de ses différentes couches; c'est lui qui a montré que les compressions horizontales ainsi développées peuvent produire, et même peut-être, parmi les causes que nous pouvons imaginer, peuvent seules produire des forces adéquates à la grandeur des phénomènes observés. En faisant ainsi ressortir l'accord de la théorie géologique avec la théorie, ou si l'on veut, l'hypothèse cosmogonique, qui seule peut rattacher l'histoire de notre planète à celle du système solaire, il a donné à cette théorie un corps solide et une base rationnelle. Les expériences synthétiques de M. Daubrée et de M. Favre y ont ajouté une nouvelle force, en reproduisant par la compression de couches artificielles tous les phénomènes principaux des dislocations terrestres.

Ce que j'ai essayé de montrer dans ce court exposé, c'est que la théorie des refoulements latéraux, quoiqu'elle nous apparaisse bien certainement comme la plus vraisemblable et la plus satisfaisante, n'est pourtant pas appuyée sur des preuves matérielles qui puissent l'imposer en cas de contestation. Elle se fonde surtout, suivant l'expression de de Saussure, sur « des analogies, dont le contraire est toujours physiquement possible »; ou, du moins, il en était ainsi jusqu'à ces dernières années. Aujourd'hui, je crois que les faits dont il va être question dans ce Mémoire fournissent la preuve, qui pouvait sembler faire défaut. Il est clair, en tout cas, que c'est seulement sur des faits de ce genre, c'est-à-dire sur l'étude de déplacements horizontaux, qu'une pareille preuve peut être fondée; eux seuls permettent de conclure avec certitude à l'action de forces horizontales, et, une fois ces déplacements constatés, il ne reste plus qu'à discuter leur généralité.

Mais la preuve n'en peut être trouvée que dans l'étude des déplacements horizontaux et dans la généralité de ces déplacements.

Ces déplacements horizontaux peuvent se constater de deux manières différentes. D'abord indirectement : quand on observe une zone de terrains plissés, la longueur primitive d'une couche déterminée, considérée dans sa position horizontale avant le plissement, était plus grande que sa projection horizontale actuelle; le fait même du plissement suppose donc que les deux bords de la zone en question se sont rapprochés, comme se rapprochent les deux châssis dans l'expérience de M. Daubrée. De Boucheporn a le premier essayé d'appliquer ce genre de calcul aux Pyrénées, et l'on s'en est servi plusieurs fois depuis, tant pour mesurer de combien s'étaient rapprochés sur la surface terrestre deux points pris aux extrémités transversales d'une même chaîne, que pour évaluer la diminution du rayon terrestre, qui pouvait correspondre à la production de cette chaîne. Mais, même en laissant ici de côté cette seconde question, plus délicate, on voit que c'est là un mode de constatation où le raisonnement a autant de part que l'observation. Or, le raisonnement est loin d'être à l'abri de toute critique; il ne tient pas compte des glissements qui ont pu se produire dans les plans des couches, des étirements et même des interruptions qu'a pu subir la couche considérée, dont on n'a jamais observé partout, mais dont on *restitue* le parcours actuel. J'aurai l'occasion, dans le cours de ce Mémoire, de revenir sur cette question; mais il est clair, sans insister, que si l'on voulait voir dans ces sortes de calculs des preuves en faveur de la théorie du refoulement latéral, on ferait un véritable cercle vicieux; car, si l'on admettait, au contraire, qu'une force verticale peut soulever les couches en forme de voûte, on n'aurait qu'à supposer des forces verticales ayant agi suivant l'axe de chacun des plis successifs; on pourrait ainsi, théoriquement, reconstituer la chaîne; le calcul précité, appliqué à l'une des couches, donnerait le même résultat, c'est-à-dire une longueur totale supérieure à la projection horizontale de la couche. Il est évident pourtant alors, d'après l'hypothèse même où l'on s'est placé, que la couche a pu se briser, s'étirer, s'allonger d'une manière

Lesdéplacementshorizontaux, déduits indirectement de la longueur d'une couche plissée, sont hypothétiques et ne peuvent fournir de base solide.

apparente ou réelle, mais que les deux bords de la chaîne ne se sont pas rapprochés.

Les déplacements horizontaux, constatés par l'observation directe, sont de plus en plus nombreux; ce sont eux qui peuvent fournir la preuve cherchée.

Il n'en est pas de même des déplacements horizontaux, constatés directement; on trouve dans beaucoup de montagnes des surfaces de glissement, très peu inclinées, parfois même tout à fait horizontales, le long desquelles des masses importantes se sont déplacées, venant recouvrir des terrains plus récents. Deux exemples en sont assez anciennement connus, sans qu'on en ait tiré toutes les conséquences, ni même soupçonné l'analogie et encore moins la généralité; ce sont ceux du bassin houiller franco-belge et des Alpes de Glaris. Ce second exemple surtout, connu déjà depuis Escher de la Linth, a fourni en 1878 à M. Heim la matière d'un Ouvrage magistral sur l'ensemble des questions orogéniques (1). C'est cet Ouvrage, sans doute (quoique le rôle spécial des déplacements horizontaux n'y soit pas particulièrement mis en lumière, et qu'ils y soient considérés comme une conséquence naturelle d'une théorie déjà admise), qui a appelé l'attention sur ces phénomènes, et depuis 1884, dans les différentes régions et d'une manière tout à fait indépendante, on en a découvert de nombreux exemples : dans le Nord de l'Écosse (1884-1888); en Provence (1887); dans les Alpes du Valais (1887); dans les Montagnes Rocheuses (1888); dans les Pyrénées (1889); dans les Carpathes (1890). Ce n'est plus seulement l'ampleur des phénomènes qui en fait l'intérêt, c'est aussi leur généralité; il n'est plus possible d'y voir le résultat d'une cause exceptionnelle et locale. Ces déplacements horizontaux constituent bien une phase normale des grands mouvements orogéniques; c'est dans leur étude qu'on doit maintenant chercher l'argument le plus décisif en faveur des actions de refoulement, et la réponse la plus topique aux objections que soulève encore la théorie de de Saussure et d'Élie de Beaumont.

---

(1) *Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung im Anschluss an die geologische Monographie der Tödi-Windgällen-Gruppe.* 2 vol. in-4° et Atlas, Basel, 1878.

CHAPITRE II.

APERÇU HISTORIQUE.

Je ne puis avoir la prétention de tracer ici l'historique complet d'une question aussi générale que celle des actions de refoulement et de leur rôle dans la formation des montagnes. Je désire seulement indiquer sommairement les principales opinions qui se sont successivement produites, ainsi que les objections de différente nature faites à la théorie des efforts horizontaux développés par le refroidissement du globe terrestre. J'y joindrai l'examen des objections qu'on a cru pouvoir tirer de la théorie mathématique du refroidissement de notre planète.

De Saussure.

Ainsi que je l'ai déjà dit en débutant, c'est de Saussure qui a le premier conçu l'idée des refoulements horizontaux. L'opinion qu'il semble surtout s'attacher à combattre est celle des affaissements, soutenue alors par Deluc, plutôt théoriquement et sans preuves tirées de l'observation directe des montagnes; de Saussure discute aussi celle du soulèvement possible des couches par des masses éruptives ou par des actions plus ou moins analogues aux actions volcaniques; il dit, notamment, en résumant ses observations sur le Mont Cenis (1): « Ce désordre rappelle naturellement à l'esprit l'idée des feux souterrains; mais comment des feux capables de soulever et de bouleverser des masses aussi énormes n'auraient-ils laissé ni sur sur ces mêmes masses, ni dans tous ces lieux aucun vestige de leur action? » L'absence de phénomènes éruptifs dans le voisinage des points les plus bouleversés ne serait peut-être pas considérée aujourd'hui comme un argument suffisant; mais, si l'on joint cette preuve négative aux preuves positives dont j'ai plus haut montré l'importance, on voit que la théorie des refoulements latéraux est dès lors fondée sur des bases

(1) *Voyages dans les Alpes*, t. III, art. 1302, p. 107.

solides, et l'on ne peut trop admirer le génie de celui qui l'a dégagée du chaos des données encore obscures ou inexpliquées.

Supériorité des idées orogéniques de de Saussure à celles des deux premières écoles géologiques (Werner et Hutton).

L'admiration qu'inspire l'Ouvrage de de Saussure se trouve encore augmentée quand on compare ses idées à celles que professaient les maîtres les plus éminents de la même époque, ceux dont l'enseignement ou les travaux ont exercé la plus grande influence sur les progrès de la science. On sait que c'est à ce moment, vers la fin du XVIII^e^ siècle, qu'ont pris naissance les deux premières écoles géologiques, celle de Werner et celle de Hutton, et que grâce à leur impulsion, à la série des efforts individuels et par conséquent le plus souvent stériles, a pu se substituer une série méthodique d'observations, pour lesquelles chacun savait le but à poursuivre et pouvait mettre à profit les progrès réalisés par ses devanciers. Les théories de Werner et de Hutton ont donc un intérêt spécial, parce qu'elles nous montrent les opinions qui, pendant une longue période, ont dominé parmi les géologues. Or, ce que Werner enseignait à ses élèves, c'est que les couches des pays de montagnes se sont presque toutes déposées dans la position même où nous les voyons aujourd'hui ; que là seulement où l'inclinaison de ces couches dépasse une trentaine de degrés, on peut admettre l'effondrement local de cavités souterraines, mais que les reliefs actuels sont surtout dus à l'action des eaux superficielles, aux retraits et aux envahissements successifs des océans, qui ont déposé les « formations universelles ». Si la *géognosie* a pris naissance à l'école de Freiberg, on doit avouer que les idées *géogéniques,* pour lesquelles pourtant Werner a su également passionner ses élèves, y restaient dans un état de profonde infériorité.

Werner.

Hutton.

Les idées de Hutton sur l'ensemble et sur la succession des phénomènes géologiques se rapprochent beaucoup plus de celles que nous admettons aujourd'hui. A ses yeux, les actions de dénudation, continuellement à l'œuvre, abaissent et détruisent les continents, dont les eaux portent les débris à la mer ; puis, quand l'œuvre de destruction est assez avancée, les actions internes interviennent et soulèvent les couches précédemment formées en de nouveaux continents, qui fourniront à leur tour la matière de nouveaux dépôts ; cette succession incessamment renouvelée des mêmes phénomènes donne naissance aux différentes périodes géologiques. Mais quant à ces actions internes, auxquelles est dû le soulèvement du fond des mers, la production des continents nouveaux et avec eux des montagnes qui en accidentent la surface, Hutton n'essaie d'en spécifier ni la nature, ni le rôle. Il est seulement à remarquer qu'il refuse d'admettre toute influence d'affaissements du sol sur la configuration de la croûte terrestre.

James Hall; premiers essais d'expérimentation.

Il est juste pourtant d'ajouter que James Hall, le contemporain et l'ami de Hutton, après avoir observé et décrit les plissements des couches siluriennes dans les falaises du Berwickshire, les attribua à une compression latérale et que, pour appuyer son opinion, il reproduisit expérimentalement une disposi-

tion analogue dans une série de petits lits d'argile placés horizontalement sous un poids qui les maintenait, et pressés latéralement entre deux étaux. La pression verticale représentait le poids des couches et de celles qui devaient les surmonter au moment du plissement; la pression latérale, l'effort produit par l'introduction de masses éruptives dans la croûte superficielle. Si remarquable que soit cette expérience, elle semble avoir eu peu d'influence sur les idées des contemporains, et c'est plus tard seulement qu'elle a été tirée de l'oubli.

Léopold de Buch; théorie des cratères de soulèvement et du soulèvement par les roches éruptives.

Il faut attendre près de trente années après les premières observations de de Saussure pour voir aborder de nouveau l'étude des Alpes et le problème de la formation des chaînes de montagnes. Les travaux de Léopold de Buch inaugurent alors une période où, grâce à la connaissance plus complète des terrains et des faunes dans les pays de plaines, l'âge et la succession des couches alpines peuvent se préciser peu à peu, où les coupes des différentes parties de la chaîne peuvent s'établir avec certitude, où enfin à l'observation d'ensemble, uniquement fondée sur les caractères minéralogiques et sur les inclinaisons des bancs, peuvent se substituer les études de détail, avec un coup d'œil plus profond sur la structure des montagnes. La gloire de Léopold de Buch est de n'avoir jamais perdu de vue le problème d'ensemble, tout en contribuant plus qu'aucun autre à accumuler les faits d'observation nécessaires pour l'éclairer, d'avoir fait prévaloir en quelque sorte l'idée des *phénomènes universels,* comme Werner avait fait prévaloir celle des *formations universelles,* et d'avoir fixé le but à atteindre par un premier essai de synthèse des chaînes du Nord de l'Europe. Là est la raison véritable de l'influence profonde qu'il a exercée sur la marche des études géologiques, influence qui ne peut se comparer qu'à celle de Werner avant lui et à celle d'Élie de Beaumont quelques années après.

La théorie de Léopold de Buch sur la formation des montagnes est aujourd'hui complètement abandonnée; elle peut même nous paraître, après celle de de Saussure, marquer un pas en arrière plutôt qu'un progrès. Elle n'en a pas moins rendu un immense service, en dehors même de l'éveil donné aux esprits, en amenant à étudier de plus près l'importance et le rôle des masses éruptives. Élève de Werner, de Buch s'était d'abord convaincu par ses voyages à travers l'Europe, de la Norvège aux Alpes, à l'Italie et à l'Auvergne, de la réalité des phénomènes éruptifs systématiquement niés par son maître. L'étude des îles Canaries (1815) lui inspira ensuite la théorie des « cratères de soulèvement », d'après laquelle les montagnes volcaniques sont le produit d'une poussée verticale qui a soulevé en forme de cône les couches ou les coulées primitivement horizontales. Frappé alors, surtout par l'étude du Tyrol et de la Styrie, des rapports de distribution des roches éruptives avec les zones montagneuses, il étendit sa théorie à la formation des montagnes : les volcans actuels se montrent

le plus souvent échelonnés sur des lignes droites, de plus ou moins longue étendue; ces axes volcaniques représentent donc des lignes de fente ou de moindre résistance, suivant lesquelles les masses de l'intérieur tendent à se frayer passage; en un petit nombre de points, la résistance est assez faible ou l'effort d'ascension assez grand pour que ces masses arrivent jusqu'au jour et pour que leur poussée y détermine les perturbations volcaniques. Il suffit d'imaginer qu'aux époques antérieures des efforts analogues se soient également répartis sur toute la longueur des lignes de moindre résistance, pour concevoir qu'elles aient pu créer, non plus une série de cônes isolés, mais une ligne continue de soulèvements, c'est-à-dire une chaîne de montagnes. Ainsi, en invoquant comme action principale et déterminante une poussée de bas en haut, on rend compte de la surélévation des chaînes au-dessus du niveau moyen de l'écorce et, de plus, on comprend que les masses fondues, introduites violemment dans l'écorce, aient refoulé de part et d'autre les terrains qui leur faisaient obstacle, et que ce refoulement ait donné naissance à la série des chaînes parallèles.

Insuffisance évidente du rôle des porphyres noirs.

Léopold de Buch avait été conduit par l'étude du Tyrol à voir dans les « porphyres noirs » l'agent principal de ces soulèvements; et, attribuant la production des dolomies à l'émission de vapeurs magnésiennes qui auraient accompagné la venue de ces porphyres, il avait proposé de voir dans tout massif dolomitique une preuve de l'existence en profondeur des porphyres noirs et, par conséquent, un argument possible pour la confirmation de la théorie. Cette idée, plus ingénieuse que solide, ne pouvait tenir longtemps contre l'examen des faits; et il est évident d'après l'examen d'une Carte géologique même sommaire, d'après celle que nous a laissée L. de Buch par exemple, que la confirmation de sa théorie ne peut et ne doit se chercher que dans l'étude du « massif central ». Ce massif central, qui forme dans les Alpes la zone médiane de la chaîne, est presque entièrement composé de roches cristallines, qui sont en partie du granite, mais en majorité du gneiss. B. Studer, qui a tant contribué à faire connaître la géologie de la Suisse, conclut de l'étude détaillée de ce massif central, entre les Alpes Maritimes et l'Engadine, que le gneiss et le granite passaient de l'un à l'autre et devaient avoir la même origine; les phénomènes de contact avec les calcaires secondaires, dans l'Oisans et surtout dans les Alpes Bernoises, ne lui semblèrent pouvoir s'expliquer que si gneiss et granite étaient de nature éruptive et postérieurs aux calcaires secondaires. C'était donc l'ensemble du massif central qui pouvait être considéré comme ayant soulevé la chaîne et produit les refoulements de ses bords; la largeur de ses affleurements était en rapport avec la grandeur des effets produits, et l'application de la théorie de Léopold de Buch pouvait alors sembler complètement satisfaisante.

B. Studer. Le massif central des Alpes considéré comme éruptif.

Longue prédominance des idées de Léopold de Buch en Allemagne.

L'idée du soulèvement des montagnes par les roches éruptives a disparu peu à peu et perdu tout crédit, non à la suite de discussions générales ou du triomphe d'une théorie contraire, mais parce que le progrès des observations s'est trouvé

contredire successivement tous les faits sur lesquels elle s'appuyait : les cônes volcaniques proviennent de l'entassement des matières rejetées, et non d'un relèvement postérieur des bancs; les porphyres, partout où on les observe, ne jouent qu'un rôle « passif » ou, pour mieux dire, ne jouent aucun rôle dans le plissement des couches voisines, que leurs coulées ont souvent partagé; l'existence des dolomies est indépendante du voisinage des porphyres; et enfin les granites et les gneiss du massif central alpin sont bien antérieurs au dépôt des couches secondaires et, à plus forte raison, à leurs bouleversements. Mais ces vérités ne se sont établies que lentement, par une série d'observations indépendantes, dont la portée principale n'a pu s'imposer que beaucoup plus tard : ainsi Studer, après avoir longtemps fait prévaloir en Suisse la théorie de Léopold de Buch, n'a pas cessé de la défendre jusqu'à sa mort (1887), et M. Suess pouvait dire en 1875 qu'en Allemagne, à cette époque, c'était encore cette théorie qui était dominante dans les traités et dans l'opinion de la plupart des géologues (1).

Élie de Beaumont; réfutation de l'assimilation des montagnes anciennes aux axes volcaniques actuels.

En France, grâce à Élie de Beaumont, la théorie avait depuis longtemps précédé le progrès lent des observations, et l'idée du refoulement latéral, généralement admise, avait été mise en liaison directe avec le refroidissement séculaire de la Terre. Ce n'est pas qu'Élie de Beaumont ait jamais contesté les faits sur lesquels s'était appuyé de Buch; il a toujours admis et défendu les cratères de soulèvement, et il ne s'est jamais refusé à attribuer aux roches anciennes la possibilité d'une action soulevante. Mais l'assimilation des axes volcaniques aux chaînes de montagnes lui semblait inadmissible. « Si on conçoit, dit-il, comment un centre d'éruptions volcaniques, agissant avec une énergie extraordinaire, aurait pu produire des accidents disposés circulairement, ou en forme de rayons, autour d'un point central, on ne peut imaginer comment même plusieurs volcans réunis auraient produit de ces rides, en partie composées de couches repliées, qui se poursuivent avec une direction constante dans l'espace d'un grand nombre de degrés. » Selon lui, les analogies qui au premier aperçu nous feraient chercher dans l'action volcanique les causes des révolutions de la surface du globe, « doivent nous conduire finalement à chercher cette même cause dans le phénomène beaucoup plus large de la haute température intérieure de la Terre ».

Rattachement de la notion du refoulement latéral à celle du refroidissement de la Terre.

Les lignes citées datent de 1833 (2). Élie de Beaumont ajoute : « Le refroidissement séculaire... et la disposition des couches du centre à la circonférence, par ordre de pesanteur spécifique, présente, en effet, un élément, auquel il me semble depuis longtemps... que ces effets extraordinaires pourraient être rattachés. Cet

(1) *Die Entstehung der Alpen.* In-8°, Wien, p. 2.

(2) Extrait d'une série de *Recherches sur quelques-unes des révolutions de la surface du globe...* composé pour la traduction française du *Manuel géologique* de M. De la Bèche, p. 51-52 du tirage à part.

élément est le rapport qu'un refroidissement aussi avancé que celui des corps planétaires établit sans cesse entre la capacité de leur enveloppe solide et le volume de leur masse interne. » En analysant les effets de ce refroidissement, Élie de Beaumont croit pouvoir démontrer que, sauf au début, il a affecté la masse centrale liquide beaucoup plus que l'écorce solide. Le refroidissement moyen annuel de l'ensemble du globe étant devenu depuis longtemps plus rapide que celui de la surface, l'écorce, qui « toute proportion gardée, est et a toujours été plus mince que la coquille d'un œuf », n'a pu se contenir sans appuis, et s'est écartée par degrés de sa figure sphéroïdale en se bosselant légèrement. « Tant que la déformation a été excessivement petite, la résistance de l'écorce solide a pu contre-balancer toutes les causes de rupture ou d'écrasement. Mais comme ces causes sont devenues nécessairement de plus en plus intenses à mesure que la déformation est devenue de plus en plus grande par le progrès du refroidissement, une *débâcle* a fini par devenir inévitable. La tendance de la masse entière à revenir à une figure à peu près sphéroïdale a fait naître un système de forces graduellement croissantes, qui ont fini par réduire l'écorce de la planète à diminuer son ampleur incommode par la formation d'une sorte de *rempli*. Un pareil rempli ne peut avoir une forme plus simple, plus en harmonie avec la figure sphéroïdale et avec le *principe de la moindre action* ou de la moindre consommation de force vive, que celle d'un *fuseau comprimé latéralement* » (1).

J'ai tenu à citer en entier ces passages, parce que le rôle d'Élie de Beaumont dans l'établissement de cette théorie a souvent été méconnu à l'étranger. Sans doute, dans ses grandes recherches sur l'âge relatif, la direction et la coordination des chaînes de montagnes, ce point de départ théorique n'a joué pour lui qu'un rôle secondaire, et il a même « toujours pris soin de le séparer des résultats directs de l'observation et des conséquences qui s'en déduisent le plus immédiatement ». Il n'en serait pas moins injuste de dire, comme l'a fait M. Suess (2), qu'Élie de Beaumont « s'est rarement prononcé sur le procédé par lequel s'élèvent les chaînes de montagnes » : il l'a fait, au contraire, à plusieurs reprises et de la manière la plus formelle. Si le développement qu'il a donné à ses idées sur ce sujet est relativement restreint, c'est qu'il lui semblait épuiser la question, et ce n'est pas au nombre de pages que doit se mesurer leur importance.

Forme plus précise donnée aux idées d'Élie de Beaumont par M. de Chancourtois.

Je crois devoir citer ici, quoique d'une date bien postérieure (18 mars 1872), une Note de M. de Chancourtois (3). Cette Note précise quel a été sur cette théorie l'enseignement d'Élie de Beaumont et de son successeur dans la chaire de l'École des Mines; elle montre en même temps par une figure explicite le sens

(1) *Notice sur les systèmes de montagnes*, t. III, p. 1238-1239.
(2) *Die Entstehung der Alpen*, p. 3.
(3) *Bull. Soc. géol. de France*, 2e série, t. XXIX, p. 238.

attaché au mot *rempli*. Cette figure est remarquable en ce qu'elle prévoit en quelque sorte schématiquement les grands déplacements horizontaux, dont la découverte et l'étude sont venues dans ces dernières années apporter une confirmation importante à la théorie.

Confirmations apportées aux idées d'Élie de Beaumont :

Après que les travaux d'Élie de Beaumont eurent ainsi mis en présence les deux théories, du soulèvement par les roches éruptives ou du ridement par les compressions nées du refroidissement, il s'écoula une assez longue période, période d'élaboration et d'accumulation de données nouvelles, avant que l'on s'occupât de les opposer l'une à l'autre et de les discuter comparativement dans leur ensemble. Pendant cette période, d'ailleurs, les adhésions aux idées de refoulement se firent de plus en plus nombreuses. En Angleterre, De la Bèche, dans ses travaux sur le Sud de l'Irlande et le Sud-Ouest de l'Angleterre, Ramsay, dans ses études sur le Pays de Galles, montrèrent que des chaînes beaucoup plus anciennes que les Alpes présentent la même succession de plis parallèles, sans qu'on puisse invoquer l'action d'aucune roche éruptive ni d'aucun massif cristallin central. « Des actions aussi grandioses et aussi générales, dit Ramsay, ne peuvent être l'effet de petites forces isolées, agissant çà et là à différents moments sur plusieurs points de la surface. L'étendue et l'uniformité du résultat montrent le contraire. » En Amérique, l'étude des Appalaches conduisait les frères Rogers (1840-1856) aux mêmes conclusions. En Suisse, les élèves d'Escher de la Linth, notamment MM. Baltzer et Heim, mettaient dans leur véritable jour l'ancienneté des roches du massif central et leur rôle orogénique. Enfin M. Suess, en 1875, résuma et fit ressortir l'ensemble des faits qui condamnent définitivement la théorie de Léopold de Buch.

Par l'étude des chaînes anciennes de l'Angleterre (De la Bèche et Ramsay);

Par l'étude des Appalaches (Rogers); par celle de la Suisse (Escher de la Linth, MM. Baltzer et Heim).

Si communément adoptée que soit maintenant la théorie, quel que soit le nombre des régions dont l'étude l'ait confirmée, on conçoit qu'il puisse se rencontrer des chaînes de type aberrant, que leur étude isolée ait pu conduire à des idées différentes sur leur formation et qu'on ait été tenté de généraliser ces idées en les opposant plus ou moins ouvertement à la notion admise du refoulement latéral. Ces divergences se sont produites à la suite des dernières études sur les Alpes françaises et sur les Montagnes Rocheuses.

Objections tirées de l'étude de chaînes qui présentent en apparence un type différent.

Les Alpes françaises du Dauphiné ont fait pendant plus de trente années l'objet ininterrompu des études de Lory, qui en a, le premier, élucidé les coupes compliquées et les apparentes contradictions. Il fut amené à regarder les plissements comme subordonnés à de grandes failles alignées suivant la direction de la chaîne et qui auraient *joué* plusieurs fois. Ces failles seraient exclusivement des failles d'affaissement, c'est-à-dire que, de part et d'autre de la clef de voûte de la chaîne, représentée par une zone de grès houillers, de larges bandes de terrains se seraient plus ou moins symétriquement affaissées, comme en gradins successifs. Les Alpes représenteraient ainsi, non pas une partie de l'écorce surélevée par les efforts latéraux, mais une zone restée en retard dans le mouvement centripète

Lory et les Alpes du Dauphiné; essai de retour à la théorie des affaissements.

général. Dans ce mouvement, les gneiss et les micaschistes, qui formaient la base déjà plissée des formations sédimentaires, constituaient une masse trop rigide pour se prêter à de nouveaux plissements; ils ont donc dû s'affaisser par grands compartiments irréguliers, déterminés par les fractures qui ont suivi les lignes de moindre résistance. Dans les dépressions ainsi produites, les terrains supérieurs plus flexibles, qui formaient d'abord un manteau horizontal et continu, se sont affaissés en masse; « par des glissements et des plis multipliés ils se sont adaptés aux nouvelles formes de leur base disloquée, de manière à en mouler les saillies et les angles rentrants, dans toutes les positions possibles. » Quand Lory voulut étendre la même explication aux Alpes Bernoises et aux Alpes de Glaris, où les « angles rentrants » seraient de plusieurs kilomètres, il lui fallut bien admettre le rôle des forces horizontales, mais il ne les considérait que comme des composantes locales du mouvement d'ensemble. Il fallait aussi expliquer pourquoi les fractures, les dépressions et les plis qui en sont résultés se trouvent alignés dans une direction unique, qui est celle de la chaîne; Lory admettait que les lignes de moindre résistance dans les gneiss avaient été déterminées par un premier plissement plus ancien. Ainsi, comme point de départ, il lui fallait revenir à la notion d'une compression d'ensemble horizontale : directement ou indirectement, il faut bien que la cause d'ensemble reparaisse pour motiver le parallélisme des chaînons; mais cette action, que Lory n'a d'ailleurs jamais combattue explicitement, lui semblait inutile à invoquer dans l'histoire des mouvements tertiaires.

Argument tiré de l'indépendance des plissements des gneiss et de ceux des terrains plus récents.

Lyell, qui a toujours été le partisan intransigeant de l'idée des « causes actuelles » et l'adversaire déclaré de toute systématisation orogénique, avait déjà indiqué la possibilité d'un retour à la théorie de Deluc : « Quelles que soient, dit-il, les conjectures auxquelles on se livre sur ces causes, il est certain que des couches susceptibles d'être pliées peuvent, lorsqu'il existe des degrés inégaux d'affaissement, se plisser plus ou moins, et montrer tout à fait la même apparence que si la compression se fût exercée subitement par un effort latéral. » Ce qui donne aux conclusions de Lory un intérêt spécial, c'est qu'elles s'appuient sur un fait d'observation de la plus haute importance : les bandes de terrains sédimentaires enfouies dans les gneiss ne le sont pas dans des plis synclinaux des terrains cristallins, mais elles en interrompent irrégulièrement la série. On ne peut nier la valeur de l'argument que Lory a tiré de ce fait en faveur des affaissements locaux; M. Gosselet, qui a signalé des faits semblables dans l'Ardenne et qui en a tiré la même conclusion en faveur d'affaissements locaux, arrive bien à combiner le rôle de ces phénomènes locaux avec les compressions d'ensemble qui ont formé la chaîne; il lui suffit d'admettre que les actions horizontales ont eu pour unique résultat, sur les couches déjà antérieurement plissées, de faire glisser leurs feuillets les uns sur les autres. Mais une pareille hypothèse n'est guère possible dans les Alpes, et surtout dans la chaîne du Mont Blanc, où

les feuillets des schistes cristallins sont à peu près verticaux; une pression horizontale n'aurait donc pas eu de composante dans les plans de ces feuillets. L'argumentation de Lory peut ainsi se réduire aux termes suivants : quelles qu'aient été les forces développées dans la période tertiaire, les schistes cristallins et les terrains secondaires se sont comportés différemment, par suite d'une résistance et d'une flexibilité inégales; les masses cristallines ne portent pas de traces, même hypothétiques, d'actions horizontales; les mouvements des masses sédimentaires peuvent s'expliquer par les affaissements et par la simple action de la pesanteur. Il n'y a donc pas lieu d'invoquer d'autre force que la pesanteur ni d'autre phénomène que celui des affaissements.

L'importance et le rôle des failles de Lory peuvent être contestés; en tout cas, il s'agit d'une région trop restreinte pour en faire la base d'une théorie générale.

Je crois, pour ma part, que quelques-unes des observations de Lory demanderaient à être confirmées par de nouvelles études, que notamment le rôle prépondérant des failles et le rôle subordonné des plissements sont encore contestables. L'existence d'une partie de ces failles a été combattue dans ces derniers temps par MM. Mattirolo et Zaccagna (1). Mais, en tous cas, il ne faut pas oublier que les faits sur lesquels s'est appuyé Lory sont restreints à une zone étroite des Alpes, celle qui est comprise entre le Mont Blanc et la chaîne de Belledonne d'une part et, de l'autre, les chaînes du Mont Rose et du Grand-Paradis, à ce que Fournet appelait « le fossé intra-alpin ». Quand il serait prouvé que l'histoire orogénique de cette zone présente quelques particularités inusitées, on ne serait pas fondé à les opposer aux résultats tirés de l'étude du reste de la chaîne et des autres régions de montagnes, non plus qu'à en faire la base d'une théorie générale.

Les Montagnes Rocheuses; MM. Dutton et Powell.

L'étude d'une région beaucoup plus étendue, celle des Montagnes Rocheuses, a conduit quelques géologues américains, notamment MM. Dutton et Powell, à formuler d'une manière plus précise encore des objections analogues à la théorie du refoulement latéral. Les Montagnes Rocheuses semblent présenter un type assez différent des chaînes précédemment étudiées. La plus grande partie de la région montagneuse, au moins autour du 40e parallèle, est constituée par de grands plateaux, à couches ordinairement peu inclinées, sillonnés par de longues fractures à peu près parallèles (plateaux de l'Utah). Les zones énergiquement plissées ne se présentent qu'à de larges intervalles, par exemple dans les chaînes côtières, mais en général les couches ne montrent plutôt que des ondulations à faible courbure. L'impression d'ensemble est celle d'un plateau surélevé; les indices de pression latérale se retrouvent dans les chaînons de l'Est du Grand Bassin, mais font défaut dans la plus grande largeur de la chaîne. Les roches les plus anciennes, au lieu de jouer un rôle analogue à celui du massif central dans les Alpes, affleurent le long du bord oriental, où elles apparaissent comme des masses isolées et indépendantes; enfin la chaîne secon-

(1) *Boll. R. Comitato Geologico d'Italia*, t. XVIII, 1887, p. 346-417, *Pl. IX-XI.*

daire de l'Uinta se dirige de l'est à l'ouest, c'est-à-dire perpendiculairement à la direction générale. La théorie admise pour les chaînes européennes et, en Amérique même pour les Appalaches, ne semble plus trouver ici d'application possible; de plus, il s'agit là de si vastes régions qu'on ne peut guère admettre pour elles une exception sans infirmer gravement la généralité de cette théorie.

L'ensemble des Montagnes Rocheuses est encore trop incomplètement connu pour qu'il y ait lieu de discuter ici en détail les diverses opinions émises. Il faut seulement rappeler que M. Suess a pu déjà ébaucher un essai de synthèse des faits connus, qui, en dépit de l'apparence première, met en évidence certaines relations avec les types normaux; de plus, si l'on remonte un peu plus au nord, on a constaté dans le Canada des déplacements horizontaux de plusieurs kilomètres, ainsi que je le décrirai plus loin. En attendant les données nouvelles, on peut dès maintenant présumer que, quelle que soit la cause de la structure des plateaux de l'Utah, elle ne représente qu'un accident dans une grande chaîne continue, produite, comme celles que nous connaissons mieux, par un refoulement d'ensemble. Les plateaux du Jura et les montagnes dolomitiques du Tyrol pourraient, sur une moindre échelle, servir de terme de comparaison.

M. Suess. — Progrès nouveau, résultant de la distinction entre les effets de refoulement et les effets d'affaissement, qui peuvent dans certaines régions se superposer.

Il me reste, pour terminer, à dire un mot de l'Ouvrage de M. Suess, *Das Antlitz der Erde* (1). Dans cette revue rapide, relative à une question spéciale, je n'ai pas la prétention d'analyser l'œuvre de M. Suess, pas plus que je ne l'ai eue pour l'œuvre de Léopold de Buch et d'Élie de Beaumont. Sans donc parler des horizons nouveaux que la puissante synthèse du géologue de Vienne a ouverts sur l'histoire des continents et des océans, et sur la « face de la Terre », je dois seulement rappeler ici le progrès important qu'il a fait faire à la théorie en établissant une distinction précise entre les failles d'affaissement et les failles de plissement. M. Suess a montré que les affaissements et les tassements inégaux sont un phénomène très général dans les chaînes anciennes, mais qu'on le retrouve aussi, sous formes de bassins plus ou moins nettement circonscrits, sur le bord des chaînes récentes. Il faut faire abstraction de ces perturbations postérieures et secondaires, pour pouvoir apprécier exactement l'action des forces horizontales, auxquelles M. Suess attribue sans réserves la formation des chaînes. Quant aux actions soulevantes proprement dites, aux forces dirigées de bas en haut, M. Suess en nie l'existence, à moins qu'elles ne résultent de la décomposition des efforts horizontaux; il n'y a donc pas lieu de faire aux soulèvements, comme on l'a fait aux affaissements, une part spéciale, indépendante des mouvements d'ensemble. Cette dernière assertion a été combattue par M. de Lapparent, mais à un point de vue seulement spéculatif, et de telle manière qu'on

(1) Wien-Prag-Leipzig; t. I, 1883-1885; t. II, 1888.

peut voir dans la discussion plutôt une querelle de mots qu'une divergence réelle d'opinions; l'Ouvrage de M. Suess ne porte aucune atteinte à la théorie des soulèvements (ou mieux des ridements), telle que l'a conçue Élie de Beaumont. Il en donne au contraire la confirmation, et il fait plus : il indique la voie d'études méthodiques qui pourraient expliquer les contradictions apparentes, destinées sans doute à se présenter encore, entre les faits d'observation et la théorie.

Objections théoriques.

J'ai essayé de résumer, dans l'Introduction et dans l'aperçu historique qui précèdent, quels sont les faits d'observation qui militent en faveur de la théorie des compressions latérales, et quelles objections lui ont été faites. Cette théorie, comme l'a si bien dit Élie de Beaumont, n'est pas liée d'une manière nécessaire à celle du refroidissement terrestre; on en a d'ailleurs la preuve dans les essais qui ont été faits pour la remplacer. Ainsi M. Mellard Reade (1), reprenant une ancienne conception de Babbage, déjà mise à profit par Dana, croit que les dépôts qui s'accumulent au fond des mers relèvent, proportionnellement à leur épaisseur, les isogéothermes terrestres, et que l'élévation de température ainsi produite dans les masses sous-jacentes, les forçant à se dilater, est suffisante pour expliquer tous les effets d'élévation et de refoulement constatés dans les montagnes. Le phénomène même de la sédimentation suffirait à expliquer toutes les dislocations de l'écorce. M. Reyer (2) cherche la cause des plissements dans le seul fait de l'émersion progressive des masses sédimentaires; quand elles sont relevées sous un angle qui n'a pas besoin d'être très grand, sous la seule influence de leur poids, il peut se produire des glissements en masse de larges portions de l'écorce, et ce sont ces mouvements qui, avec les pressions et les chevauchements occasionnés par les résistances locales, auraient formé les chaînes de montagnes. Mais ces diverses hypothèses ont rencontré peu de faveur, et l'on peut douter qu'elles soient jamais destinées à se substituer à celle du refroidissement; il faut donc avouer que, dans l'état de nos connaissances, toute objection théorique qui mènerait à contester le lien entre le refroidissement terrestre et les bouleversements de l'écorce, porte si elle est fondée, une atteinte sérieuse à l'idée du refoulement latéral.

La théorie du refoulement latéral n'est pas nécessairement liée à la théorie du refroidissement.

Autres hypothèses proposées : MM. Mellard Reade et Reyer.

Dans l'état de nos connaissances, il est difficile de séparer les deux théories, et toute objection qui les mettrait en désaccord porte une atteinte sérieuse à l'idée du refoulement latéral.

Or ces objections datent de loin; elles se sont reproduites et développées avec une nouvelle insistance dans ces dernières années; il importe donc, sans vouloir en faire une étude complète qui ne serait pas à sa place, d'en discuter sommairement la valeur.

Discussion sommaire de ces objections.

La première objection s'attaque à ce point du raisonnement d'Élie de Beaumont qui suppose l'écorce solide du globe épaisse seulement de 40^{km} ou 50^{km}, « plus mince relativement que la coquille d'un œuf ». Si cette mince écorce sur-

Objections faites à la faible épaisseur de la croûte solide; cette faible épaisseur serait incompatible avec les

(1) *The Origin of Mountain Ranges.* In-8°, London, 1886.

(2) *Theoretische Geologie.* In-8°, Stuttgart, 1888.

observations des marées, la précession des équinoxes et l'aplatissement des pôles.

montait une masse fluide, celle-ci serait soumise au phénomène des marées; sous l'action de ces marées, la croûte, même en lui supposant la rigidité de l'acier, serait condamnée à osciller, et la hauteur apparente des marées océaniques se trouverait réduite dans une proportion incompatible avec l'observation. De plus, les valeurs de la précession et de la nutation devraient, dans cette hypothèse, être différentes des valeurs bien connues et constatées; enfin la grandeur de l'aplatissement polaire ne serait pas non plus d'accord avec les résultats du calcul.

L'intérieur de la Terre devrait être considéré comme entièrement solide.

Les résultats de ces divers calculs ont paru assez précis pour que plusieurs physiciens et même plusieurs géologues (1) considèrent comme démontré que l'intérieur de la Terre est solide. Mais dans ces calculs, dans les conclusions qu'on en tire et dans leur application à la Géologie, il me semble qu'on ne tient pas compte de deux points importants : d'abord le poids de la croûte, et ensuite la signification toute relative, toute subjective, des mots *solide* et *liquide*. On suppose, implicitement ou explicitement, que les différentes parties de l'écorce peuvent se soutenir par leurs pressions mutuelles, à la façon de voûtes, sans peser sur le noyau. Or cela est inadmissible; il paraît au contraire incontestable que, quand les pressions sont suffisamment grandes, elles se transmettent intégralement dans tous les sens, dans les solides aussi bien que dans les liquides; c'est ainsi que, dans une galerie profonde de mines, le mur tend aussi bien à se soulever que le toit à s'abaisser. Par conséquent, à l'intérieur de la Terre, à une profondeur suffisante, quelle que soit la composition des matières, leurs molécules se trouvent maintenues dans leurs positions respectives par des pressions énormes, qu'il n'est pas déraisonnable de supposer atteindre et dépasser bien vite les forces de cohésion, telles que nous les définissons à la surface. Avec la mobilité des molécules disparaît la propriété principale des liquides, celle sur laquelle se fondent les calculs précités; et, par suite *en tout cas,* par le seul effet de ce poids de l'écorce, l'ensemble de la Terre se comporte, vis-à-vis des actions extérieures, comme une masse solidaire, douée de cohésion dans ses différentes parties, c'est-à-dire comme un solide. Or c'est là ce que vérifient tous les calculs de physique mathématique par une voie indirecte : les masses internes ne se comportent pas comme se comporte un liquide à la surface, mais elles ne peuvent le faire en aucun cas, empêchées qu'elles en sont par la pression qu'elles supportent, et ce résultat, qu'on aurait dû prévoir, ne nous apprend rien sur leur nature ni sur leur état.

Les calculs ne tiennent pas compte de la transmission des pressions dans les solides; cette transmission, pour les grandes pressions, *se fait également dans tous les sens.*

Les molécules de l'intérieur sont donc maintenues, de tous côtés, par des pressions énormes, au moins équivalentes aux forces de cohésion; elles perdent donc toute mobilité relative.

Quel que soit l'état physique des corps à l'intérieur de la Terre, l'ensemble doit nécessairement se comporter comme un solide vis-à-vis des actions extérieures.

C'est ce résultat que vérifient indirectement tous les calculs invoqués.

On voit ainsi en quoi la réponse connue et souvent citée de Delaunay était insuffisante, quand il invoquait seulement la viscosité des liquides internes et leur adhérence à l'écorce, augmentée encore par la rotation de la Terre, et quand il les comparait au liquide contenu dans un ballon qu'on fait tourner. Lui non

Insuffisance de la réponse faite par Delaunay à ces objections.

(1) NEUMAYR, *Erdgeschichte.* 2 vol. in-8°, Leipzig, 1886.

plus ne tenait pas compte du poids, qui pour le ballon ne joue aucun rôle et pour l'écorce terrestre joue un rôle capital; c'est toujours l'application du même théorème, qu'il n'y a pas de similitude en Mécanique.

Objections tirées de la théorie du refroidissement d'une sphère.

Les autres objections sont tirées de la théorie du refroidissement d'une sphère supposée homogène et solide, théorie que Fourier a donnée le premier, et dont Sir William Thomson a développé la solution : une formule relativement simple donne, à une époque quelconque après le commencement du refroidissement, l'état calorifique de la sphère et la température de ses différents points; elle permet, par suite, pour une période déterminée, d'apprécier le refroidissement relatif de ses différentes couches.

Série des hypothèses nécessaires pour appliquer cette théorie à la Terre.

L'application au globe terrestre ne laisse pas que de présenter certaines difficultés. Il faut d'abord choisir un point de départ, une origine des temps; on choisit le moment où la surface terrestre était à la température de fusion des roches; il faut évaluer la durée de temps qui nous sépare de ce moment, ce qui ne peut se faire que par la valeur, assez difficile à préciser, du degré géothermique; il faut supposer la conductibilité constante et connue; et enfin, ce qu'on oublie souvent, il faut supposer toute la Terre solide, c'est-à-dire qu'il ne puisse se produire à son intérieur aucun mouvement de diffusion, aucun courant provoqué par les différences de température. D'après les idées que je viens de développer, cette dernière condition est nécessairement remplie, parce que les pressions de l'intérieur empêchent tout déplacement des parties; mais si l'on n'admet pas ces idées, et que l'on maintienne l'opinion de la fluidité du noyau, il faut renoncer en même temps à toute application de ces formules à la Géologie.

Toute application est impossible, si l'on considère l'intérieur de la Terre comme liquide, ou comme conservant la mobilité des liquides.

Le refroidissement du noyau central est insignifiant jusqu'à quelques centaines de kilomètres de la surface.

Ces réserves faites, un premier point mérite l'attention : le refroidissement du noyau central est insignifiant; pratiquement sa température reste constante. Le refroidissement ne commence à faire sentir ses effets, à provoquer la contraction, qu'à une distance relativement faible de la surface. Cette distance, qui varie d'ailleurs avec le temps écoulé depuis le début du refroidissement (proportionnellement à la racine carrée de ce temps), ne pourrait guère actuellement dépasser 400 kilomètres. Que devient alors, dit le capitaine Dutton, l'hypothèse de l'écorce forcée à s'appliquer sur le noyau contracté, puisque le noyau ne se contracte pas? « Ainsi, ajoute-t-il, l'hypothèse est réfutée en partant des données mêmes qu'elle invoque et en les poussant à leurs conclusions inévitables » (1). Il est clair que l'objection est mal fondée; il importe peu que le centre du noyau se contracte, et que ce noyau ne se refroidisse que dans les parties plus voisines de la surface; du moment qu'il y a refroidissement, de quelque manière que les effets s'en répartissent, les couches superficielles, dont la température reste à peu près constante, présenteront un volume trop grand pour pouvoir s'appuyer

L'objection qu'on a tirée de ce fait est sans valeur.

(1) *Fourth Annual Report of the U. S. Geol. Survey*, 1882-'83, p. 193.

sans ridement sur les couches inférieures. Il est de plus inexact de dire qu'en prenant pour base les calculs de Fourier, on reste dans les données même qu'invoque l'hypothèse d'Élie de Beaumont, puisque Élie de Beaumont supposait le noyau liquide et que les calculs de Fourier le supposent solide. J'ai montré il est vrai que la solidité de l'écorce suffit pour que ces calculs soient applicables; dans cette manière de voir, il faut modifier les termes du raisonnement d'Élie de Beaumont, ne plus parler d'une écorce qui ne se refroidit pas et d'un noyau qui se refroidit uniformément, les courants y uniformisant la température; mais la conclusion reste la même : jusqu'à une certaine profondeur, qui n'a rien de commun avec celle où est atteinte la température de fusion des roches, chaque couche sphérique se refroidit moins que la moyenne des couches sous-jacentes, et par conséquent jusqu'à cette profondeur, les couches, pour s'appliquer les unes sur les autres, sont forcées de se plisser et soumises à des efforts de compressions latérales.

Il faut naturellement modifier les termes du raisonnement d'Élie de Beaumont si l'on assimile l'intérieur de la Terre à un solide, et non plus à un liquide; mais les conclusions restent les mêmes.

Les problèmes dont on peut alors essayer de demander la solution au calcul, pour comparer cette solution aux données géologiques, sont évidemment les deux problèmes suivants : la profondeur jusqu'à laquelle se font sentir les effets de refoulement, et la diminution du rayon nécessaire pour produire une somme d'effets comparable au soulèvement d'une chaîne de montagnes ou de l'ensemble des chaînes d'une période géologique donnée.

Calcul de M. Davison, sur l'épaisseur de la couche soumise à une compression par le fait du refroidissement.

La première de ces questions n'a attiré que depuis peu l'attention. M. Davison (1) a montré que, d'après la formule qui donne les répartitions successives de température dans les diverses couches, les couches trop étroites pour s'adapter à leur nouvelle position seraient tout à fait superficielles. L'expression qui en fixe la limite inférieure est $\frac{6Rt}{r}$, r désignant le rayon terrestre, R le coefficient de conductibilité, et t le temps écoulé depuis le début du refroidissement; suivant les hypothèses, la valeur en varie de 4 à 8 kilomètres; elle aurait été bien moindre encore aux époques géologiques antérieures. La petitesse de ces nombres a été justement remarquée, et elle a été exploitée par les adversaires de la théorie du refroidissement. Mais, pour bien comprendre la signification de ce résultat, il faut se souvenir que les hypothèses qui sont la base de ce calcul sont de moins en moins conformes à la réalité à mesure qu'il s'agit de couches moins profondes; d'abord on ne tient pas compte des inégalités de la surface, c'est-à-dire de quantités supérieures à celles qu'on arrive à évaluer. De plus, en supposant que chaque couche vient s'appuyer exactement sur les couches inférieures, on admet par là même que ces couches, déjà supposées solides, sont en même temps douées d'une plasticité absolue. Cette double condition ne peut être remplie qu'à une profondeur assez considérable, quand les pressions deviennent supé-

Objection tirée de la petitesse du nombre obtenu, ne dépassant pas 8 kilomètres.

Conditions que suppose le calcul, et qui ne sont pas réalisées dans le cas de l'écorce terrestre.

(1) *Philosophical Transactions*, vol. 178, 1887, p. 231-249.

rieures, ou au moins comparables aux forces de cohésion. Mais dès qu'il cesse d'en être ainsi, dès que les résistances provenant de ces forces de cohésion cessent d'être négligeables, comme elles peuvent être très inégalement réparties, le problème se complique singulièrement : d'après M. Davison, au-dessous des 8 premiers kilomètres, sur une hauteur de près de 400^{km}, les couches, se refroidissant plus que la moyenne des parties sous-jacentes, seraient de ce fait soumises à des efforts de *distension,* qui, joints à l'action combinée des pressions, les forceraient de s'amincir pour envelopper une plus grande surface. On admet, pour faire le calcul, qu'elles s'amincissent uniformément; mais cela cesse d'être vrai quand il faut tenir compte de la cohésion. Il est impossible alors de prévoir quelle sera la déformation d'une couche *trop large* qui, comprimée du haut et du bas, résiste inégalement aux différentes forces qui la sollicitent, et il est très possible que le résultat en soit de la plisser en quelques-unes de ses parties. La conclusion du calcul, en tant que nombre précis, n'a donc aucune valeur géologique; il faut en retenir seulement que les plissements s'atténuent *probablement* en profondeur et affectent une bien moins grande épaisseur de couches qu'on n'a l'habitude de l'admettre, au moins en apparence dans le langage généralement adopté, quand on suppose avec Élie de Beaumont que c'est toute l'écorce qui est plissée, c'est-à-dire toute la partie où la température n'atteint pas celle de la fusion des roches. Mais on ne peut aller plus loin, et le fait bien constaté que, dans des chaînes même anciennes comme les Appalaches, l'épaisseur des couches plissées dépasse 8^{km}, ne peut pas être sérieusement considéré comme en contradiction avec la théorie du refroidissement.

Possibilité de plissements au-dessous de la couche où la compression horizontale serait nulle d'après le calcul.

Sens dans lequel il faut interpréter le résultat du calcul;

il n'est pas en contradiction avec les faits connus, et il est conforme aux conclusions de ce Mémoire.

La seconde question qu'on peut se poser est d'évaluer la totalité des efforts produits par le refroidissement et de la comparer aux données de l'observation, ou encore de limiter cette comparaison à la période géologique la plus récente, celle où le phénomène de la formation des chaînes est le mieux connu, et où son importance est le plus facile à apprécier. M. O. Fisher (1) a développé la comparaison générale, et a cru y trouver une preuve décisive de l'insuffisance du refroidissement considéré comme cause des inégalités de la surface : chaque couche sphérique, dit-il, a dû, par suite de la diminution de volume du noyau sur lequel elle s'appuie, se rapprocher du centre d'une quantité qu'on peut calculer; elle s'est donc trouvée avoir *en trop* un certain volume (en tenant compte de son épaisseur), qu'on évalue, pour rester au-dessus de la vérité, sans tenir compte de la contraction propre de la couche. On trouve ainsi que tous ces volumes additionnés, qui représentent la somme des élévations possibles produites par la compression, ne suffiraient, étalés sur la surface de la Terre, qu'à y former une couche de 300 mètres, insuffisante même pour rendre compte des inégalités entre les plates-formes continentales et les bassins océaniques. Mais

Objections tirées de l'insuffisance du refroidissement calculé pour produire les effets observés.

Argument de M. Fisher, basé sur la comparaison des volumes.

(1) *Physics of the Earth's Crust.* In-8°, London, 1881; 2e éd., 1889.

Erreur commise en faisant entrer en ligne de compte les dépressions océaniques.

Elle est la cause du désaccord apparent.

aucun géologue n'a jamais considéré les bassins océaniques comme formés par compression ; et le calcul de M. Fisher, loin de montrer que les chaînes de montagnes ne peuvent être produites par ces effets, laisse disponible, pour les former, un volume qui semble bien suffisant. Ainsi pour les temps tertiaires, en les évaluant au dixième des temps géologiques, les chaînes tertiaires occupant à peu près la quatre-vingtième partie de la surface terrestre, on arriverait pour ces chaînes à une hauteur moyenne de 2400^{m} au-dessus de la plate-forme des continents.

Comparaison des raccourcissements du rayon terrestre.

Ce mode d'évaluation, réduit à ces termes et débarrassé de l'appareil des formules, peut paraître assez grossier; il revient à comparer le volume que perd la Terre à celui des chaînes de montagnes; mais, outre que la base au-dessus de laquelle il faut compter ce volume des masses montagneuses n'est pas facile à préciser, on ne met pas en évidence l'élément de discussion le plus important, c'est-à-dire le raccourcissement du rayon terrestre. Le raccourcissement peut se calculer directement : on connaît, par le degré géothermique, la quantité de chaleur que la Terre perd dans une année; M. de Lapparent, qui a récemment exposé les éléments de cette question avec sa clarté habituelle, en a déduit (1) que, si cette quantité de chaleur perdue correspondait à un refroidissement uniforme de toutes les parties, la diminution de rayon résultante pouvait, en adoptant les coefficients les plus vraisemblables, s'évaluer à 174^{m} par million d'années. Mais ce refroidissement uniforme est trop éloigné de ce qu'enseigne la théorie; M. G. H. Darwin a montré (2) qu'en tenant compte de la répartition successive des températures, et aussi de l'amincissement des couches nécessaire pour leur adaptation mutuelle, le raccourcissement est précisément le double de ce qu'il serait dans l'hypothèse du refroidissement uniforme. Ce serait donc 350^{m} par million d'années; il n'est pas inutile de rappeler que M. Darwin, adoptant des coefficients un peu différents, trouve 540^{m}. Si la période pendant laquelle se sont formées les chaînes tertiaires embrasse 10 millions d'années (M. de Lapparent n'en admet que 3 millions), c'est de 3500^{m}, ou de 5400^{m}, en prenant l'évaluation la plus forte, que se serait raccourci le rayon pendant cette période.

Calcul direct de ce raccourcissement; évaluation de M. de Lapparent, en supposant le refroidissement uniforme.

Évaluation en tenant compte de l'inégalité du refroidissement, et de l'accommodation des couches concentriques.

Incertitude de ces évaluations.

C'est là ce que donne la théorie, on voit dans quelle limite d'incertitude. Voyons maintenant ce que peut donner l'interprétation des observations; j'ai déjà dit plus haut que cette interprétation était fondée sur ce *postulatum*, que le développement d'une couche plissée est égal à la longueur de cette couche avant le plissement. En partant de là, M. Heim a établi que la largeur de l'emplacement sur lequel se sont élevées les Alpes, comptée perpendiculairement à la chaîne, avait dû subir un raccourcissement de 120^{km}; il en conclut (sans

Évaluation du raccourcissement de l'emplacement des Alpes, et par suite du raccourcissement d'un grand cercle terrestre.

(1) *Bull. Soc. géol. de Fr.*, 3^{e} sér., t. XV, 1886-87, p. 383-400.

(2) *Phil. Transactions*, vol. 178 (A), 1887, p. 242-249.

parler des autres chaînes) que, si un grand cercle a diminué de cette longueur, le rayon a diminué de 19^{km}; et, en tenant compte des autres zones de plissement, il porterait ce raccourcissement à 57^{km}. La différence avec les résultats précédents serait alors assez accentuée pour fournir une objection sérieuse.

C'est la diminution totale de surface, et non la diminution de longueur d'un grand cercle, qu'il faudrait évaluer.

M. de Lapparent a montré que ce mode de calcul était trop simplifié et inadmissible; ce n'est pas la diminution d'un grand cercle, mais la diminution totale de surface qu'il faut évaluer. Or les deux grandes zones de plissement tertiaires sont réparties sur la surface du globe d'une manière assez simple pour permettre cette évaluation : l'une va des Alpes et des chaînes méditerranéennes au Caucase, à l'Himalaya, et même jusqu'aux îles de la Sonde; l'autre entoure l'Océan Pacifique, mais est surtout accusée le long de l'Amérique, dans les Montagnes Rocheuses et dans les Andes. On peut les représenter assez approximativement, conformément à l'ancienne conception d'Élie de Beaumont, par deux fuseaux de l'écorce terrestre; en prenant les 120^{km} trouvés par M. Heim pour mesure commune du raccourcissement de leur hauteur médiane, on en conclut que la diminution de surface résultant du plissement aura été : $4 \times 120 \times r$, et, par suite, la diminution du rayon $\frac{120}{2\pi}$, ou 19^{km}. On retombe donc sur le premier nombre indiqué par M. Heim. Il est vrai que M. de Lapparent s'en tient à un résultat *six fois* moindre : d'abord il ne tient pas compte des chaînes américaines, qui présenteraient plutôt la structure de plateaux surélevés que de régions plissées; ensuite, pour les Alpes et les chaînes connexes, il se contente de quintupler l'évaluation relative à la partie comprise entre le Jura et le Tyrol, ce qui est certainement insuffisant.

En admettant l'existence de deux grands fuseaux de plissements tertiaires, les deux évaluations mèneraient à peu près au même résultat.

M. de Lapparent a trouvé un résultat six fois moindre.

Je ne cherche pas à dissimuler ces divergences; elles prouvent combien tous ces calculs laissent de place à l'arbitraire et combien seraient précaires les conclusions qu'on voudrait en tirer. Mais même si l'on admet sans réserves les données que j'ai choisies comme les plus vraisemblables, la contradiction qui semblerait exister entre les 19^{km} de M. Heim et les 5^{km} de M. Darwin n'est encore qu'une objection sans valeur, parce que le *postulatum* dont on est parti est lui-même très contestable. Tous les affaissements, tous les glissements qui se sont produits à peu près dans les plans des couches, se traduisant soit par des étirements, soit par des failles, ont pour résultat d'augmenter d'autant, dans les coupes complétées, la longueur apparente des couches. Quand je montrerai tout à l'heure que ces déplacements peuvent être pour un seul pli de 5^{km} et 6^{km}, on comprendra quelle cause d'erreur peut en résulter : elle porte sur des quantités comparables à celles qu'on veut évaluer.

Place laissée à l'arbitraire dans ces évaluations.

Le postulatum même qui sert de base aux évaluations est très contestable : la longueur d'une couche ne reste pas invariable avant et après le plissement.

Ainsi aucune des objections, faites à la théorie du refroidissement et à son application aux phénomènes orogéniques, ne résiste à l'examen. Sans doute on ne serait pas non plus fondé à voir une preuve de la légitimité de cette application,

Il n'y a nulle part de désaccord constaté entre la théorie et les faits d'observation.

dans l'accord possible des faits et de la théorie; dès qu'on veut préciser des nombres, les données sur lesquelles on s'appuie sont trop incertaines pour que cet accord possible puisse passer pour une vérification. Mais, en dépit de ce que l'on a souvent affirmé, sur aucun point il n'y a désaccord; cela suffit, ou du moins c'est ce dont il faut se contenter.

CHAPITRE III.

GÉNÉRALITÉS SUR LES PLISSEMENTS. PLIS, PLIS-FAILLES ET PLIS COUCHÉS.

Le mécanisme des plissements, dans le cas le plus simple, ne présente aucune difficulté : une série de voûtes et de cuvettes (plis anticlinaux et plis synclinaux) se succèdent régulièrement, avec des couches alternativement inclinées dans les deux sens. C'est le type qui est réalisé dans le Jura de Porrentruy. Les progrès plus ou moins avancés de la dénudation peuvent créer, dans cet ensemble de plis uniforme, des aspects orographiques très variés; ce sont ces divers aspects que Thurmann a étudiés et fait connaître dans le Jura, sous le nom de différents *ordres* de voûtes; mais ce n'est là qu'une complication apparente, et le mouvement de chaque couche, tel qu'on peut le restituer sur les coupes, est de tout point comparable aux effets que, dans les expériences de M. Daubrée, produit la compression sur une lame flexible, d'épaisseur uniforme et uniformément chargée.

Plis droits ou symétriques.

Ces plis réguliers, avec égal pendage de part et d'autre de l'axe, se nomment *plis droits* ou *symétriques* (*fig.* 1).

On conçoit que l'inégalité des résistances puisse suffire à déranger cette régularité; on peut en avoir une idée d'après les expériences sur une lame flexible

Plis dissymétriques.

FIG. 1. — Plis droits ou symétriques.

inégalement chargée en ses différents points. Il peut se produire alors des plis dissymétriques, dont un des flancs est plus incliné que l'autre, où les couches même sur l'un des flancs dépassent la verticale et sont renversées. Mais il y a des chaînes, ou au moins des régions entières dans certaines chaînes, où cette

dissymétrie des plis est une règle générale et non plus l'exception, où, de plus, tous les plis successifs se montrent déjetés dans le même sens; le phénomène prend alors un nouvel intérêt, parce que, par sa généralité même, il doit être en rapport avec la nature des forces qui l'ont produit. C'est dans ces régions qu'on trouve les plis plus fortement déjetés, dont le plan axial, de plus en plus incliné, arrive à se rapprocher de l'horizontale. Ce sont ces plis, dits *plis couchés,* qui produisent l'apparence de couches en forme de C, depuis si longtemps remarquée dans les Alpes. Un pli couché n'étant jamais un phénomène isolé, mais étant toujours accompagné d'autres plis déjetés dans le même sens, il y a là un nouvel argument en faveur de l'existence d'une force d'ensemble, et l'on est amené de plus à l'idée d'un refoulement dans un sens déterminé, c'est-à-dire d'une pression inégale exercée aux deux extrémités du massif considéré.

Plis couchés.

Ces différentes formes de plis, plis droits, plis déjetés sans renversement ou

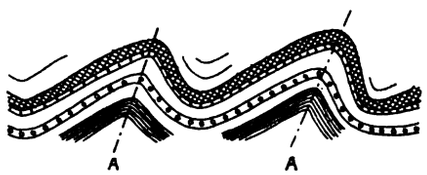


Fig. 2. — Plis déjetés sans renversement.

avec renversement (*fig.* 2 et 3), plis couchés (*fig.* 4), suffiraient à expliquer toutes les coupes des pays de montagnes, si ces mouvements avaient pu s'effec-

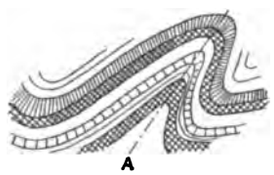


Fig. 3. — Pli déjeté avec renversement.

Jeu des différentes parties les unes par rapport aux autres.

tuer sans qu'il y ait jeu des différentes parties les unes par rapport aux autres. Cela est *a priori* impossible, et il y a dans ces déplacements relatifs un élément important de complication, dont il faut tenir compte dans l'analyse des mouvements des couches.

Le jeu relatif de deux portions voisines de l'écorce, à moins qu'il ne se fasse suivant le plan d'une couche, a pour résultat nécessaire de produire une discontinuité dans les affleurements. Ce sont ces lignes de discontinuité auxquelles en France on donne, uniformément et sans distinction, le nom de *failles*. Les failles peuvent souvent se suivre sur de grandes longueurs, et leur tracé constitue un point de repère important dans l'étude stratigraphique. Dans les pays non plissés, comme sur les bords du bassin de Paris ou du plateau central, leurs aligne-

Différence des failles des pays de plaines et des pays de plissements.

ments à peu près rectilignes constituent le trait marquant des dislocations du sol; dans les pays de montagnes, au contraire, comme dans les Alpes, elles amènent bien des suppressions locales de couches et, par conséquent, des discontinuités dans les affleurements, mais ces discontinuités n'interrompent pas

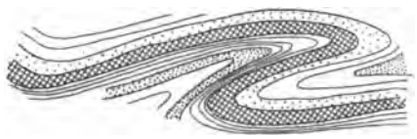


Fig. 4. — Pli couché.

le dessin général des contours, et elles ont pu paraître d'assez peu d'importance pour qu'on ait pris l'habitude de ne pas leur attribuer de figuré spécial. La différence qui existe à ce point de vue, entre les Cartes géologiques françaises et les Cartes géologiques de la Suisse, est trop générale et trop marquée pour qu'on puisse l'attribuer seulement à des différences d'interprétation. Il y a là une distinction profonde, tenant à la nature même des mouvements qui se sont produits; c'est seulement dans ces dernières années, grâce surtout aux travaux de M. Suess, qu'on en a bien compris et précisé la véritable raison.

Failles d'affaissement, coordonnées autour des bassins d'affaissement.

Il peut arriver, comme pour le bassin de Paris, comme pour le plateau de la Bavière, que pour une cause ou pour une autre, une région ait été soumise à un mouvement général d'affaissement; ce mouvement, inégal pour les différentes parties, a dû amener des cassures et des glissements de ces parties les unes sur les autres; de là des failles, qui s'ordonnent plus ou moins parallèlement aux bords du bassin, et dont le parcours est le plus souvent rectiligne. Elles s'écartent peu de la verticale, et leur caractère distinctif est que le mouvement de glissement s'y fait verticalement, sous l'action de la pesanteur, c'est-à-dire dans une direction indépendante de celle des bancs.

Failles de torsion.

Il peut arriver aussi, comme dans le Morvan ou dans le Harz, que des efforts de compression se soient exercés sur un massif inapte à se plisser; il se produit alors des efforts de torsion, comparables à ceux des expériences de M. Daubrée, et un *champ de fractures* correspondant. Dans ce cas, le réseau de cassures est plus complexe, mais la caractéristique reste la même : le mouvement de glissement se fait suivant des surfaces à peu près verticales, dans une direction indépendante de celle des couches.

C'est à ces deux groupes de fractures qu'on devrait réserver le nom de *faille* (*lithoclase, fault, Verwerfung*); c'est elles qu'il y aurait intérêt à subdiviser, en employant la nomenclature créée par M. Daubrée.

Dans les régions plissées, le rôle de la pesanteur devient accessoire.

Mais dans les pays plissés les conditions changent; la pesanteur, qui jouait le rôle principal dans les glissements précédents, ne joue plus qu'un rôle accessoire. La production des plissements suppose des efforts énormes de compres-

sion horizontale; le poids des masses mises en mouvement, la cohésion même de la matière disparaissent ou ne sont plus que des composantes presque négligeables en présence de l'énormité de ces efforts. Or là, comme toujours, c'est la force qui produit le mouvement, qui produit aussi les jeux ou les glissements relatifs, et, au moins quand la compression a eu pour résultat de coucher les plis, les glissements ont tendance à se produire suivant la direction du mouvement et, par conséquent, *suivant le plan des couches*. Un mouvement qui serait rigoureusement dirigé dans les plans des couches ne laisserait pas de trace observable dans la répartition des affleurements; mais, pour peu qu'il leur soit légèrement oblique, les surfaces de glissement pourront se reconnaître par la suppression d'un plus ou moins grand nombre de couches. Ce seront donc des surfaces de discontinuité, des failles au sens trop général du mot, mais ces failles seront à peu près parallèles aux surfaces de stratification; leur affleurement, au lieu d'être rectiligne, participera à toutes les sinuosités des affleurements des couches; elles ne modifieront donc pas d'une manière frappante la physionomie de la Carte.

Quand les plissements amènent les bancs à être peu inclinés sur la direction de la force, les glissements relatifs ont tendance à se produire suivant les surfaces des bancs.

Une autre conséquence est facile à prévoir, d'après cette analyse : les surfaces de stratification étant toutes des surfaces de glissement facile, il n'y a pas de raison pour que le glissement se fasse suivant un seul joint et ne se répartisse pas entre plusieurs; au lieu d'une surface de glissement ou de faille, il se produira donc souvent une *zone de glissements,* dans laquelle la somme des déplacements partiels ou même élémentaires équivaudra au déplacement total produit plus loin tout d'une pièce. Au lieu d'une suppression d'ensemble d'un système de couches, il y aura suppression intermittente d'une partie des lits; au lieu d'une faille, il y aura un *étirement des couches;* sur une épaisseur restreinte, on trouvera des représentants de plusieurs étages, ou même de tous les étages intermédiaires. Il serait inexact d'indiquer sur la Carte une faille dont on ne peut trouver sur le terrain la place précise; il le serait encore plus de nier l'existence d'un accident équivalant à cette faille.

Toutes les surfaces de stratification étant des surfaces de glissement facile, il y a tendance à un morcellement du glissement d'ensemble.

Le résultat en est la suppression intermittente ou l'*étirement* d'une partie des couches.

Ainsi, dans les régions dont les plis sont dissymétriques et déjetés dans un même sens, on peut prévoir, d'après la nature seule des forces qu'on suppose mises en jeu, que le résultat principal, sinon unique, des déplacements relatifs qui ont accompagné le mouvement d'ensemble a dû être une exagération des plis, par l'amincissement ou la suppression partielle d'un de leurs flancs. C'est ce que vérifie l'observation. J'emprunte à l'excellent Ouvrage de MM. Heim et de Margerie, sur les dislocations de l'écorce terrestre (1), la classification et la nomenclature des différentes structures de plis, à mesure que s'accentue l'action du refoulement latéral; ce sont :

Les glissements relatifs produisent donc surtout une exagération, et non une interruption dans le phénomène de plissement.

Nomenclature des différentes structures de plis étirés.

(1) *Les dislocations de l'écorce terrestre : Die Dislocationen in der Erdrinde.* In-8, Zürich, 1888. Les figures 1 à 10 du présent Mémoire sont tirées de ce Volume.

1° Le pli à flancs d'épaisseur égale (*pli normal* de beaucoup d'auteurs);
2° Le pli à flanc médian étiré, ou pli étiré (*fig.* 5);
3° Le pli à flanc renversé réduit en lambeaux (*fig.* 6); c'est celui « où les

Fig. 5. — Pli étiré.

couches renversées sont étirées jusqu'à se déchirer en lambeaux séparés par des surfaces de glissement »;

4° Le pli-faille, ou pli-faille inverse, ou faille de plissement (*Faltenverwer-* Pli-faille.

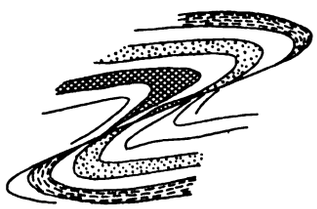


Fig. 6. — Pli à flanc renversé réduit en lambeaux.

fung, Wechsel); c'est celui « dont le flanc renversé n'est plus représenté que par un plan de glissement » (*fig.* 7).

Presque toutes les failles des régions de plissement sont des *plis-failles,* Les relations d'un pli-faille sont bien plus étroites avec un pli étiré qu'avec une faille ordinaire.

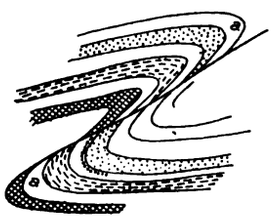


Fig. 7. — Pli-faille.

comme on peut s'en convaincre par le parallélisme de leur affleurement avec la direction générale des plis, par leur inclinaison dirigée dans le même sens que celle des couches et, le plus souvent même, précisément égale à celle des couches, enfin et surtout par les passages qu'on peut observer, en suivant un même pli, entre le pli-faille, le pli étiré et le pli normal. On voit donc qu'en

dépit du mot de *faille,* les relations de ce phénomène avec un simple étirement sont beaucoup plus étroites et plus intimes qu'avec les failles des pays de plaines.

Tous les étirements n'indiquent pas nécessairement un déplacement relatif des bancs qui limitent la couche étirée.

Tous les étirements, il est vrai, n'indiquent pas nécessairement un déplacement relatif des bancs qui limitent la couche étirée. Si l'on suppose, et l'on ne peut guère faire autrement, que les couches se soient, en raison de la grandeur des forces développées, comportées comme des matières plastiques, il faut admettre aussi que des compressions normales ont pu étrangler et amincir une couche donnée, surtout si elle est un peu argileuse, en faisant refluer la matière vers les charnières synclinales et anticlinales où il y a eu épaississement. Dans ce cas, il y aurait bien eu glissement, si l'on veut, mais glissement égal sur les deux parois de la couche, de telle manière que la position respective des autres bancs, ou de ces deux parois entre elles, n'en est pas modifiée. Toutefois, plus les couches ont de tendance à s'incliner parallèlement aux forces agissantes, moins la composante normale à ces couches sera importante à considérer, et alors l'étirement, provenant surtout de la composante parallèle aux couches, indiquera avec certitude l'existence d'un déplacement relatif entre les bancs qui limitent la zone étirée. La conclusion est encore plus nette quand il y a dans la même zone plusieurs couches inégalement amincies et supprimées, parmi lesquelles des couches résistantes de grès et de calcaire. Le rapport de l'épaisseur primitive à l'épaisseur réduite du flanc étiré donne même dans ce cas une mesure, qui est un minimum, du glissement relatif.

Étirement par compression normale; son rôle est restreint par rapport à celui de l'étirement par glissement tangentiel.

Ces déplacements tangentiels augmentent la longueur des couches, en répartissant leur matière sur un plus grand espace.

Ainsi il peut s'être produit, dans les assises des montagnes plissées, des jeux importants et des déplacements considérables, sans que la place en soit marquée par une faille, ni même par un pli-faille, sans qu'il en reste d'autre trace que des amincissements de couches. Ces déplacements se trouvent tout entiers comptés au profit de la longueur d'une couche, quand on fait, comme je l'ai dit plus haut, le développement d'une coupe transversale de la montagne; la longueur évaluée se trouve augmentée d'autant, sans qu'il y ait de compensation. M. Heim, après avoir reconnu la valeur théorique de cette objection à ses calculs, ajoute : « D'autre part, si l'on négligeait les raccourcissements coïncidant avec l'épaississement local des couches [dans les charnières synclinales et anticlinales], le chiffre obtenu serait trop faible (1). » Mais ces renflements ne correspondent qu'aux amincissements amenés par la compression, ainsi que je viens d'essayer d'en faire la distinction, et non à ceux qui résultent des glissements; or il est certain que ces derniers seuls peuvent avoir une valeur notable.

Erreur qui en résulte dans les évaluations du raccourcissement d'un grand cercle.

Caractère des accidents dans les zones de bordure (Jura et chaînes subalpines).

Le raisonnement que je viens de faire et l'analyse qui précède des déplacements relatifs dans les montagnes ne s'appliquent bien qu'aux parties où les

(1) *Les Dislocations de l'écorce terrestre,* p. 78.

plis sont déjetés et inclinés dans un même sens, c'est-à-dire qu'aux hautes chaînes, au moins pour les Alpes. Quand on s'approche du bord de la chaîne, où les plis ne sont plus que légèrement dissymétriques, comme dans l'Ouest du Jura français ou dans les chaînes subalpines du Dauphiné, le rôle des étirements devient peu important, et il est probable que ceux qu'on y rencontre sont dus aux compressions normales plus qu'aux glissements en direction; par contre, en certains points, les failles abondent et présentent des caractères différents. Elles sont toujours longitudinales; mais elles se rapprochent plus de la verticale, ce qui, il est vrai, peut s'expliquer par raison de symétrie, même si on les suppose provenir des plissements, et surtout elles coupent les couches sous des angles plus marqués. Pour quelques-unes, on peut suivre le passage à des plis dont les parties supprimées se complètent; pour toutes je suis tenté de croire que c'est le cas; mais la preuve n'est pas faite, et il est possible qu'il y ait là un type spécial à considérer, celui d'une combinaison de plis avec des failles qui n'en sont pas la conséquence directe.

Il est possible qu'il y ait là un type spécial de structure à distinguer.

Les développements précédents montrent et expliquent les différents types de coupes que peut présenter un pli, avec les complications qu'y introduisent les glissements relatifs; ils font connaître en même temps les failles (ou surfaces de discontinuité) les plus fréquentes dans les montagnes. Il faut en outre signaler une autre catégorie d'accidents, ou de failles, qui affectent non plus les coupes des plis, mais leur prolongation en direction; ce sont les décrochements horizontaux (*Blätter* de M. Suess). La direction de ces failles est perpendiculaire à celle des plis qu'elles traversent; le plan de fracture est à peu près vertical; mais ici le mouvement n'est plus vertical, comme dans les failles d'affaissement; il ne se rapproche pas du plan des couches, comme dans les plis-failles; il a lieu, au contraire, dans le sens horizontal, « comme le prouve l'existence de stries, peu inclinées sur l'horizon, à la surface des deux lèvres de la fracture, et surtout le déplacement relatif souvent considérable, en plan, des deux massifs correspondants situés de part et d'autre ».

Troisième catégorie de failles : failles de décrochement.

Le plan de la fracture est alors vertical; le déplacement est horizontal et indépendant de la direction des bancs.

Ces déplacements horizontaux ne se manifestent pas toujours par une fracture brusque. Ils sont en somme le résultat d'une torsion produite par l'inégalité du refoulement latéral ou par l'inégalité des résistances qui lui sont opposées. Cette torsion peut se traduire par une simple déviation brusque du pli, avec ou sans étirement des couches; cette déviation du pli peut passer à une fracture, comme un pli passe à un pli-faille, et enfin la cassure peut être franche et nette, sans inflexion des couches à son voisinage (*fig.* 8, 9 et 10). On trouve dans le Jura des exemples de ces divers types : ainsi la vallée de la Laime, au-dessus de Champagnole, fournit un bel exemple du décrochement par fracture, et les environs de Mouthe (entre Mouthe et les Pontets) permettent d'observer un décrochement sans fracture, avec simple étirement des bancs dans les parties déviées. Les décrochements ont souvent déterminé le passage des vallées et

Ces déplacements horizontaux sont le résultat d'une torsion produite par l'inégalité du refoulement latéral.

La déviation du pli peut se faire sans fracture.

correspondent à l'emplacement des *cluses*, ce qui rend parfois l'observation de détail difficile et même impossible. Dans les Alpes autrichiennes, ces sortes de

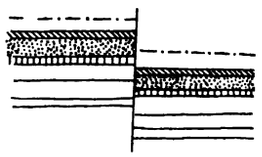


Fig. 8. — Décrochement horizontal.

fentes sont souvent minéralisées, ce qui s'explique, parce qu'elles ne sont pas, comme les failles longitudinales, fermées par la compression latérale.

Les failles de décrochement, en permettant ainsi de constater des déplacements horizontaux, sont une des meilleures preuves en faveur du refoulement

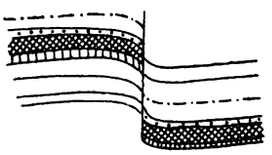


Fig. 9. — Décrochement avec déviation partielle des couches.

Les failles de décrochement ne sont qu'un cas simple de torsions plus complexes, peu étudiées jusqu'ici.

horizontal. Ce phénomène intéressant semble d'ailleurs n'être qu'un cas simple de torsions plus complexes des plis, qui arrivent à leur faire décrire en plan des doubles sinuosités en S et presque de véritables boucles, et dont il sera plus loin question dans ce Mémoire. Ces torsions, qui sont d'ailleurs encore insuffi-

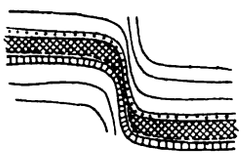


Fig. 10. — Décrochement par inflexion.

samment étudiées, semblent se produire quand la direction générale de la chaîne est brusquement déviée par la rencontre d'un massif résistant.

Failles d'affaissement dans les régions plissées; elles sont postérieures aux plissements.

Enfin il peut se trouver aussi, quoique exceptionnellement, dans les régions plissées, des failles qui présentent le caractère incontestable de failles d'affaissement. Il est clair, dans ce cas, que ces accidents doivent être postérieurs à la formation des plissements, si l'on admet que ces derniers soient formés par compression latérale. Tout affaissement, en effet, suppose en profondeur un vide que les couches superficielles vont remplir, ou une tendance au vide qui se comble

à mesure qu'il se forme; mais ces vides même seraient insuffisants pour provoquer l'affaissement, si les couches superficielles étaient maintenues par des pressions capables de les plisser, et par conséquent bien supérieures à leur poids. L'affaissement ne pourra donc avoir lieu que quand les pressions se seront résolues et auront pris fin par le fait même du plissement.

Affaissements en forme de bassins; affaissements en forme de vallées allongées.

Les affaissements peuvent se présenter sous forme de bassins isolés et indépendants de l'allure générale de la chaîne; leur isolement même les rend alors faciles à reconnaître, et permet de caractériser sans incertitude les failles qui les limitent. Mais il est possible aussi qu'ils se présentent sous la forme de bassins très allongés, de véritables vallées d'effondrement (*Grabenverwerfungen*); il est naturel alors de supposer que l'allongement sera parallèle à celui de la chaîne, et que par conséquent il sera difficile de les distinguer des résultats mêmes du plissement; on peut citer à l'appui de ces difficultés les discussions auxquelles a donné lieu la vallée de Chamonix et auxquelles j'ai déjà fait allusion. On peut retenir pourtant, des observations qu'ont permises les chaînes plus anciennes, que ces affaissements longitudinaux se produisent surtout au sommet des plis anticlinaux; les plis synclinaux, enfoncés en profondeur, s'y trouvent établis d'une manière plus stable; et, quand une voûte est insuffisamment soutenue, c'est la clef de voûte qui s'effondre.

Plis couchés. Ce qui mérite pour eux une mention spéciale.

Après avoir ainsi énuméré les différentes catégories d'accidents que l'on peut rencontrer dans les montagnes, après avoir essayé de préciser leur rôle et leur origine, il me reste à revenir avec plus de détails sur le phénomène des plis couchés, que j'ai seulement mentionné à sa place, et dont l'étude va occuper les Chapitres suivants. Théoriquement, il n'y a aucune difficulté à passer du pli incliné au pli couché, même à celui dont l'axe, ou mieux le plan axial, est devenu tout à fait horizontal. Il n'y aurait donc pas lieu d'insister davantage à leur sujet, si l'exagération des phénomènes indiqués précédemment n'amenait au point de vue pratique des apparences très particulières et des complications imprévues, sur lesquelles, comme je l'ai dit, l'attention s'était peu portée jusqu'à ces dernières années.

Exagération des phénomènes d'étirement et de suppression des couches.

Quand un pli est couché horizontalement, il semble évident d'abord qu'il y a là l'indice d'actions plus énergiques que dans les autres cas; mais surtout, les joints de stratification arrivant à être parallèles à la direction de l'effort, il est clair que la tendance au glissement suivant ces joints sera la plus grande possible. C'est donc dans ce cas, d'après les explications précédentes, qu'on doit s'attendre à trouver les étirements les plus considérables; l'observation montre que ces étirements dépassent toutes les prévisions. Des épaisseurs de 500^m de couches, et plus, se trouvent, dans la partie renversée du pli, réduites à quelques mètres et même à quelques centimètres; dans ces quelques mètres, pouvant passer à des lambeaux intermittents, pouvant même complètement disparaître, on trouve des représentants de tous les étages intermédiaires,

se présentant toujours dans l'ordre que prévoit la théorie, c'est-à-dire dans un ordre de superposition inverse de l'ordre normal de dépôt. On peut regarder les couches comme incompressibles et leur volume total comme constant; si l'épaisseur d'une série est devenue en moyenne cinquante fois moindre, c'est que cette série s'est répartie sur un espace cinquante fois plus grand. Comme la compression normale ne peut avoir joué là aucun rôle dans l'amincissement, celui-ci est tout entier le fait des glissements; l'allongement des couches, conséquence de l'étirement, correspond donc à un *allongement du pli;* c'est là ce qui crée à ces plis une physionomie spéciale et ce qui mérite pour eux une description à part. Sans doute, dans les plis plus faiblement inclinés, il a dû y avoir aussi allongement, mais dans de moindres proportions; et surtout cet allongement s'est traduit par une élévation, et la tête du pli, amenée en saillie, a dû être enlevée par les actions de dénudation, ou sinon, ses parties profondes n'ont pas été mises au jour. Quand au contraire le pli allongé s'est étalé horizontalement, la dénudation n'a pas eu de raison de s'attaquer plutôt à son extrémité qu'à ses parties médianes, et les affleurements peuvent souvent permettre d'en retrouver et d'en reconstruire la longueur totale. On trouve alors que cette longueur atteint et dépasse 6^{km} et 7^{km} pour des plis à noyau relativement étroit, c'est-à-dire n'embrassant qu'un petit nombre de couches. Le simple rabattement de plis verticaux ne donnerait rien de semblable; même en prenant pour mesure de leur hauteur possible celle des plus hautes montagnes, on atteindrait à peine en les couchant les longueurs réellement observées; de plus on verrait toujours l'épaisseur croître avec la hauteur, le noyau comprenant un nombre de plus en plus grand de couches de plus en plus anciennes. Dans les plis couchés typiques, la longueur est indépendante de la largeur du noyau, c'est-à-dire de l'épaisseur des couches qui y ont été englobées, et en les rétablissant par la pensée dans une position verticale, on arriverait à une figure tout à fait invraisemblable.

Ces étirements correspondent à un allongement des couches, et par suite à un *allongement du pli.*

Plis couchés longs de plusieurs kilomètres avec un noyau relativement étroit.

Il y a un autre point à noter : dans les plis ordinaires on ne signale guère d'étirements et de plis-failles que le long du flanc renversé. M. de Margerie (1) est même allé jusqu'à voir là une règle nécessaire et une conséquence directe de la théorie : « Il n'y a aucune raison, dit-il, pour que, normalement, le flanc non renversé d'un pli s'étire et passe à une faille. » On comprend bien que l'effort soit plus grand sur les parties renversées, mais il me semble au contraire qu'on ne voit pas de raison *a priori* pour que les composantes parallèles aux bancs n'agissent pas aussi sur l'autre flanc, sur le flanc non renversé. S'il en était ainsi, et si la règle était absolue, il y aurait des conséquences intéressantes à en tirer, que je me contente d'indiquer : la composante verticale des glissements longitudinaux produits dans les couches d'un pli anticlinal, ou mieux de la somme

Dans les plis couchés, les étirements et les glissements ne se produisent pas seulement le long du flanc renversé.

(1) *Les Dislocations de l'écorce terrestre*, p. 113.

de ces glissements, serait égale à la dénivellation du fond des deux synclinaux qui le bordent. Cette somme pourrait donc s'évaluer assez exactement, et l'on peut voir que, pour le seul versant septentrional des Alpes, cela ferait plus de 15^{km} à retrancher du résultat de M. Heim sur la longueur primitive des couches. Quoi qu'il en soit, en prenant seulement le fait comme un résultat provisoire d'observation, il importe de remarquer qu'on ne peut l'appliquer aux plis couchés horizontalement. Les masses non renversées qui forment la partie supérieure du pli ont participé à l'ensemble du déplacement horizontal, et dans ce mouvement elles ont souvent glissé les unes sur les autres. De là résulte la suppression locale de certains bancs et parfois même d'un étage entier; seulement cette suppression ne s'applique jamais qu'à une faible partie de la masse totale. Le fait, au point de vue pratique, n'en est pas moins important à noter : par cela même que l'étirement est moins marqué, on est moins tenté de l'invoquer comme cause, et l'on peut être amené à conclure à tort à des lacunes dans la sédimentation.

Difficultés d'observation et d'interprétation créées par les plis couchés.

L'existence des plis couchés a pour la géologie d'une région des conséquences importantes, et peut y créer des difficultés au premier abord indéchiffrables. Le phénomène peut se résumer ainsi : des masses stratifiées sont venues recouvrir horizontalement les terrains les plus récents de la contrée et les ont *complètement masqués* sur de grandes étendues. Dans toutes les parties où ce recouvrement a eu lieu, la série des couches sédimentaires se trouve répétée deux fois dans le même ordre, en superposition normale; et entre les deux séries on trouve des lambeaux de terrains intermédiaires *renversés*.

Importance des lambeaux de terrains intermédiaires renversés.

Hypothèse qui sépare le charriage horizontal (ou l'allongement du pli) du phénomène même de plissement.

En fait, la charnière anticlinale de ces plis couchés a presque toujours disparu par dénudation; en quelques cas seulement, on a pu en présumer l'amorce par le relèvement des terrains, mais la courbure anticlinale elle-même n'a jamais été constatée. On pourrait donc dire que l'attribution de ces phénomènes à des plis n'est qu'une hypothèse, que ces mouvements de charriage peuvent se concevoir sans plissement, et que même la présence des lambeaux de terrains renversés peut s'expliquer autrement. En fait, dans l'exemple le plus connu de phénomènes semblables, celui du bassin houiller franco-belge, on n'a même pas eu l'idée, pendant longtemps, que la grande faille-limite dût se rattacher à un système de plissements, et l'on ne songeait pas à une comparaison possible avec les dislocations alpines. M. Gosselet a bien montré qu'il fallait toujours invoquer un ridement préalable; mais il pourrait se faire que le charriage fût postérieur et en fût indépendant. Les deux hypothèses peuvent se soutenir pour les chaînes anciennes, mais pour les chaînes récentes la liaison directe avec les plissements est évidente; elle devient par là même la plus probable pour tous les cas.

Étude des *masses de recouvrement;* rôle capital de la dénudation.

Si les masses qui sont venues recouvrir les couches plus récentes, ou *masses de recouvrement,* étaient restées telles qu'elles étaient après leur mouvement, il serait impossible d'évaluer par l'observation l'amplitude du phénomène. Sur

le bord de la masse charriée, on pourrait voir les terrains plus récents s'enfoncer sous elle, mais non pas prévoir de combien ils y pénètrent. C'est la dénudation seule qui a permis une étude plus complète; les agents atmosphériques se sont attaqués à ces masses superficielles; dans certains cas, ils les ont complètement fait disparaître et n'en ont laissé que des témoins isolés; ce sont les *îlots de recouvrement*. Dans d'autres, ils ont seulement entamé en quelques points le manteau de recouvrement; et alors c'est seulement au fond de quelques vallées ou de quelques dépressions qu'on voit apparaître les terrains plus récents de la série inférieure. Ce sont des *trouées* ou *échappées* sur le substratum de la masse de recouvrement.

Ilots de recouvrement.

Trous dans la masse de recouvrement.

Ces affleurements, isolés en dehors de leur position naturelle, îlots de recouvrement ou trouées dans la masse supérieure dénudée, sont les indices les plus fréquents et les plus caractéristiques qui permettent de présumer et de reconnaître l'existence des plis couchés. Les preuves à chercher alors, à défaut de la superposition directe, que le plus souvent les éboulis ou la végétation empêchent d'observer, sont : d'une part l'absence des traces de rivage, qui pourraient faire croire à des écueils dans les mers anciennes, d'autre part l'existence de couches renversées sur le pourtour des îlots.

Vérifications à chercher.

Pour étudier en détail tous ces phénomènes avec leurs différents aspects, pour en discuter de plus près la signification, je ne crois pouvoir mieux faire que de choisir comme type la Provence, d'abord parce que c'est une région française que j'ai pu étudier par moi-même, et ensuite parce qu'elle offre des exemples variés, dont quelques-uns réalisent le maximum de simplicité théorique. La Provence mérite de devenir la région classique des plis couchés, comme le Jura l'est pour les plis droits et réguliers. Je comparerai ensuite, plus sommairement, les résultats de cette description détaillée avec ceux de l'étude des autres régions où les mêmes phénomènes ont été reconnus.

La Provence peut être choisie comme région type pour l'étude plus détaillée de ces phénomènes.

CHAPITRE IV.

LES PLIS COUCHÉS DE LA PROVENCE.

1° Bordure sédimentaire des Maures. Description générale.

Massif cristallin des Maures et de l'Esterel.

Les Maures sont un massif de roches cristallines, qui borde la côte de la Provence entre Toulon et Fréjus. L'affleurement en est interrompu, entre Fréjus et Vidauban, par une dépression où se sont accumulés les dépôts sédimentaires et les produits des éruptions porphyriques de l'époque permienne, mais les roches cristallines reparaissent plus au nord, quoique sur une moindre étendue, entre Cannes et Draguignan. L'ensemble de ces affleurements septentrionaux et des pics abrupts formés par les porphyres est désigné géographiquement sous un autre nom, celui de *chaîne de l'Esterel;* mais, au point de vue géologique, la séparation des affleurements cristallins des Maures et de l'Esterel n'a pas de raison d'être, et c'est leur ensemble que je désignerai sous le nom de *massif des Maures.*

Ce massif est entouré par une zone de terrains plissés.

Ce massif est bordé au nord par une série de terrains sédimentaires, dont la structure a présenté aux premiers observateurs l'apparence d'une très grande simplicité; mais, en réalité, ces terrains sont plissés, et même très fortement plissés. Par rapport à ces plis, le massif des Maures occupe donc la même place et semble jouer le même rôle que les massifs centraux des Alpes par rapport aux plissements alpins; l'autre versant de la chaîne, si pour compléter la comparaison on veut en présumer l'existence, serait abaissé et masqué aujourd'hui sous la mer. Le premier point à examiner, pour apprécier l'histoire géologique de la région, est de savoir si cette conception est fondée, si le massif des Maures a seulement été mis au jour par les refoulements tertiaires, faisant saillir au milieu de la zone plissée les terrains plus anciens, ou s'il représente un massif ancien, consolidé et émergé depuis longtemps, avant le dépôt des sédiments qui l'entourent.

Il importe d'établir dès le début qu'il n'a pas été mis au jour par les plissements tertiaires.

C'est un massif ancien, émergé et consolidé depuis longtemps avant le dépôt des sédiments qui l'entourent.

Discordance du Permien avec la série cristalline.

Une première donnée est la discordance des schistes cristallins avec les terrains houillers qui existent à l'intérieur du massif et avec les terrains permiens qui lui forment bordure. Mais le Permien pénètre profondément dans plusieurs dépressions de la chaîne, comme à Collobrières; il y affecte la forme de bassins synclinaux, à bords souvent renversés; il semblerait naturel d'en conclure que ce sont là les restes d'un ancien manteau continu, seuls épargnés par la dénudation, et que le Permien a dû recouvrir toute la chaîne. Il n'en est rien cependant: sans parler des conglomérats grossiers, à roches cristallines, de Collobrières, on trouve à la base des couches permiennes, non loin de Pignans, à l'est du nouveau chemin de Pignans à Pierrefeu, des bancs formés de petits fragments aplatis de phyllades, à bords à peine émoussés, analogues aux produits des ruissellements quaternaires et témoignant d'un très faible transport. Cette formation est locale, et les chances de l'observer sont d'autant moindres que le contact des schistes cristallins et du Permien a très souvent lieu par faille; mais son existence suffit à donner la preuve d'un rivage immédiatement voisin, et par conséquent celle de l'émersion des Maures à cette époque.

Le Permien, quoique pénétrant dans les vallées des Maures, n'a pas recouvert toute la chaîne.

Formations de rivages.

Plaine permienne entourant le massif des Maures.

Le Permien, avec ses schistes facilement attaquables, forme une large plaine, qui entoure le massif entre Toulon et Fréjus; sauf le petit groupe des collines d'Hyères, les terrains plus récents ne se rencontrent que de l'autre côté de cette plaine, c'est-à-dire à une distance déjà plus grande du massif; il serait possible pourtant que la dénudation fût la seule cause de cet éloignement des affleurements. Les terrains plus récents que le Permien, surtout les terrains triasiques et jurassiques, ne présentent plus qu'exceptionnellement des caractères franchement *côtiers;* l'étude comparée de leurs affleurements permet cependant de constater des faciès d'autant plus littoraux qu'on est plus voisin du massif, et l'on est en droit d'en conclure l'existence persistante de terres émergées sur l'emplacement actuel des Maures.

Le Trias présente le facies lagunaire du Nord de l'Europe.

Le Trias présente uniformément le facies lagunaire de l'Europe septentrionale, avec ses trois termes connus : le Grès bigarré, le Muschelkalk et les Marnes irisées; on peut seulement en conclure que les Maures faisaient partie de la ligne de séparation qui, entre l'Andalousie et le lac de Constance, limitait ce facies lagunaire et le facies pélagique du Sud; mais comme on ne sait si cette ligne était une barrière partout bien marquée, comme au contraire elle admet des pénétrations mutuelles, ainsi que cela vient d'être démontré pour les Alpes françaises (gypses de la Maurienne et calcaires du Briançonnais à Gyroporelles), la conclusion reste théorique et sans conséquence directe pour l'émersion.

Le Lias et le Bajocien sont représentés par des calcaires à silex autour du massif, par des calcaires marneux (facies pélagique) quand on s'en éloigne.

Dans le Lias et le Bajocien, l'existence d'une bande littorale s'accuse par l'abondance des silex et des débris de Crinoïdes. Ce facies s'étend au Lias moyen et supérieur, ainsi qu'au Bajocien inférieur, à l'ouest de Toulon; autour de Draguignan et au sud de Puget-Théniers, il ne représente plus que le Bajocien, et il disparaît à l'est du Var. Le facies marneux, indiquant de plus grandes

profondeurs et des eaux plus tranquilles, se montre plus au nord et s'accentue à mesure qu'on s'éloigne du massif : il existe déjà, pour les deux étages du Lias et le Bajocien, au nord de Marseille (la Nerthe); pour le Bajocien seul, autour d'Aix; il se développe surtout dans la région de Castellane et de Digne, avec des épaisseurs qui augmentent vers le nord et atteignent 400^{m} près de Digne. Le Lias inférieur (calcaire à Gryphées arquées), qui manque dans la zone de bordure, conserve plus longtemps le caractère littoral.

Le Bathonien dessine une ceinture littorale par des calcaires à Polypiers.

Le Bathonien inférieur n'accuse le voisinage du rivage qu'à l'est, notamment auprès d'Antibes, où l'on y trouve (à Clausonne) un banc de lignites; à l'ouest au contraire, il conserve partout le facies pélagique de calcaires marneux à Ammonites. Mais le Bathonien supérieur, sous forme de calcaires à Polypiers et à Nérinées ou de dolomies, dessine de nouveau, et avec une grande évidence, la ceinture littorale : il y a à signaler plus particulièrement à ce point de vue les calcaires à Oolithes ferrugineuses de Saint-Hubert, au nord-est de Toulon, avec une faune analogue à celle de Ranville, et les calcaires jaunes à Oursins qui forment la base des calcaires bathoniens compacts entre Toulon et Brignoles. Vers le nord, tout l'étage passe à des schistes noirs identiques à ceux du Bajocien et de l'Oxfordien inférieur, constituant avec eux d'immenses talus profondément ravinés, où les niveaux ne peuvent plus se reconnaître que par les fossiles.

Cette ceinture littorale est plus marquée à la fin de l'époque jurassique, par l'existence d'une véritable ligne de récifs.

La bande à caractère littoral, plus restreinte pendant l'Oxfordien, se retrouve bien marquée par les dolomies et calcaires blancs du Jurassique supérieur; les calcaires blancs coralligènes à *Terebratula moravica* marquent la place d'une ligne de récifs (analogue aux récifs-barrières actuels), qui courait de l'est à l'ouest entre Rougon et Moustiers, de là s'infléchissait vers le sud du côté d'Aups, et allait sans doute, en contournant les Alpines, rejoindre les calcaires blancs de l'Hérault, pour se raccorder, parallèlement à la concavité du plateau central, avec l'Échaillon et le Salève. A l'intérieur de cette vaste courbe, le Jurassique supérieur a uniformément le facies pélagique (ou tithonique) et se compose de calcaires lithographiques à Ammonites.

Ainsi pour l'époque jurassique, si les dépôts détritiques ne permettent pas d'argument direct, la répartition et l'échelonnement de bandes, où le caractère littoral s'affaiblit à mesure qu'on s'éloigne des Maures, plaident indirectement en faveur de l'émersion du massif. Cette conclusion est confirmée et précisée par l'étude des dépôts crétacés.

Néocomien et Urgonien.

Pour le Crétacé inférieur, les indices sont de même ordre que pour le Jurassique : le Néocomien, près de Nice, est formé par une mince couche glauconieuse, évidemment littorale; mais même à l'ouest du massif, les calcaires compacts des environs de Toulon et Marseille, avec leur rare faune de Bivalves et l'intercalation progressive des marnes à *Toxaster,* contrastent avec les masses de calcaires marneux à Céphalopodes du nord de Rians, de Castellane et de la région alpine. L'Urgonien dessine une nouvelle ceinture de récifs, à peu près

sur l'emplacement des récifs jurassiques. Déjà, à cette époque, un large promontoire, ou au moins un large plateau sous-marin, semble s'être formé entre les Maures et le Pelvoux; à partir du Cénomanien, la partie située à l'ouest ne reçoit plus de dépôts pélagiques, ceux-ci étant définitivement confinés dans la région alpine proprement dite; dans cette partie, qui correspond à la première ébauche de la vallée du Rhône, le peu de profondeur des eaux se traduit par l'abondance des dépôts réciformes (calcaires à Caprines du Cénomanien, calcaires à Hippurites du Turonien et du Sénonien). La tendance à l'émersion s'accuse, dès le Cénomanien et le Turonien, par l'existence de dépôts saumâtres. Enfin l'émersion devient définitive à l'époque danienne, où le grand bassin de Fuveau est comblé lentement, jusqu'à la fin de l'Éocène, par des dépôts lacustres, puis franchement terrestres.

Peu de profondeur des eaux montré par le développement des Rudistes.

Tendance à l'émersion, dès le Cénomanien et le Turonien; émersion définitive à l'époque danienne; bassin de Fuveau.

Dans cette série crétacée, le Turonien mérite une mention spéciale; en effet, il se montre à la Ciotat composé d'une masse de 200^{m} de poudingues, avec galets roulés de grès permiens, de muschelkalk et même de calcaires jurassiques. Cette masse, au nord et à l'ouest, passe assez rapidement à des grès grossiers, puis à des calcaires spathiques avec grains de quartz; à moins de 5^{km} au nord de la côte, toute trace de transport violent a disparu, et le Turonien n'est plus représenté que par des marnes à *Periaster* et des calcaires à Hippurites. Les poudingues sont donc formés d'éléments venus du sud ou du sud-est; il y avait donc un massif émergé à la place des Maures, et les couches permiennes et triasiques qui s'étaient déposées précédemment le long de ce massif étaient même partiellement exondées.

Poudingues et grès grossiers du Turonien; preuves directes de l'émersion des Maures.

Il reste à remarquer que toute la série des couches est concordante, depuis le Permien jusqu'au sommet du Crétacé. Sans doute, il faut bien admettre, pour expliquer tous les faits mentionnés, qu'il y a eu des oscillations du sol, mais ces oscillations ne semblent nulle part avoir sensiblement écarté les couches de leur position horizontale primitive. Ainsi, dans la série de Fuveau, on remarque une transgression étendue à l'époque des calcaires de Rognac, c'est-à-dire que ces calcaires ont une extension plus grande que celle des autres terrains crétacés et qu'ils vont en certains points reposer directement sur les dolomies jurassiques, en d'autres sur l'Urgonien. En ces points, malgré l'immense lacune, il n'y en a pas moins concordance complète; on ne peut observer nulle différence d'inclinaison entre les couches jurassiques et ces couches de Rognac (1). Il faut pourtant ajouter que ces dernières couches renferment parfois à leur base des conglomérats avec galets jurassiques, ce qui force à admettre une émersion et

Concordance complète de toute la série sédimentaire, depuis le Permien jusqu'à l'Éocène inférieur.

Transgression de la série de Fuveau, mais sans discordance.

Il faut pourtant qu'il y ait eu des émersions partielles.

(1) M. Collot a pourtant signalé un point qui ferait exception à cette règle. Dans la chaîne de la Nerthe, au nord de Marseille, il semble également qu'il y ait une discordance locale; mais les rapports stratigraphiques et la détermination même de l'âge des couches demandent, là encore, de nouvelles études.

une dénudation partielles de ces dernières; mais on n'en peut pas moins affirmer que les bords du bassin, quels qu'aient été leurs déplacements, ont toujours formé une région plate et basse, et que les premiers mouvements sérieux de dislocation n'ont guère commencé avant la fin de la période crétacée.

Cette dernière conclusion n'a pas toujours été admise, parce que l'on voyait des îlots triasiques affleurer, comme au Beausset, au milieu du Crétacé, et parce que les couches daniennes lacustres se présentent souvent, de la manière la plus inattendue, au milieu de sédiments plus anciens; mais je montrerai plus loin que toutes ces anomalies apparentes sont le résultat, non pas de discordances, mais de mouvements mécaniques postérieurs, et qu'elles sont la conséquence, plus ou moins facile à mettre en évidence, mais toujours certaine, de la formation de grands plis couchés.

Résumé de l'histoire sédimentaire de la région.

L'histoire sédimentaire de la région qui nous occupe peut donc se résumer ainsi : depuis le début de l'époque permienne, les Maures n'ont pas cessé de former un massif émergé, dont l'influence s'est fait constamment sentir sur les dépôts des mers qui en ont baigné les bords; nous ne pouvons dire quelles ont été les oscillations des rivages aux époques triasique et jurassique, dont les dépôts côtiers ont disparu, mais il n'est pas probable qu'ils aient à aucun moment beaucoup empiété sur leurs premières limites. En tout cas, l'existence de récifs-barrières coralliens, déjà bien probable à l'époque bathonienne, est certaine à celle du Jurassique supérieur, et leur large bande allait alors se réunir à celle qui bordait le plateau central. Avec la période crétacée commence à se dessiner un mouvement d'émersion de plus en plus marqué; la mer tend à s'isoler de la grande mer alpine; les rivages reculent, laissant à découvert une partie de la bordure permienne et triasique; des émersions partielles se produisent aux points où l'apport des sédiments est plus rapide que l'enfoncement lent du bassin, et finalement les eaux se concentrent dans un grand lac, dont les rivages mobiles restent toujours bien éloignés du massif ancien.

Cette existence d'un massif ancien, composé de roches plus rigides et formant déjà saillie quand se sont produites les premières actions de compression, est un point très important, qu'il était nécessaire d'établir au début pour comprendre ensuite l'ensemble des mouvements orogéniques qui ont façonné la région et pour expliquer sa structure compliquée.

Structure de la Provence. Caractères généraux de sa topographie.

La Provence est plutôt, orographiquement parlant, un pays de collines qu'un pays de hautes montagnes. Les plus grandes altitudes dépassent rarement 1000^{m}; mais, d'un côté, il faut se souvenir qu'on part du niveau même de la mer, et de l'autre, plusieurs chaînons, malgré cette hauteur relativement faible, accusent, par la hardiesse de leurs escarpements et par l'allure de leurs cimes déchiquetées, une physionomie qui, même au point de vue topographique, appelle la comparaison avec les véritables chaînes alpines. Mais ce qui manque surtout

à la Provence pour présenter dans son ensemble ce caractère de chaîne de montagnes, c'est l'absence de direction générale suivant laquelle s'orientent les chaînons successifs; on peut même dire que les chaînons allongés y sont une exception et que les massifs isolés sont la règle de sa topographie. Sans doute on peut citer la Sainte-Baume, Sainte-Victoire, le Gros Cerveau qui, sur quelques kilomètres, dessinent des lignes de hauteurs dirigées de l'est à l'ouest; mais ces lignes s'arrêtent bientôt, soit brusquement, comme la Sainte-Baume et Sainte-Victoire, soit par un abaissement progressif; et alors les coteaux qui leur succèdent, ou s'étalent sans contours nettement définis, ou se morcellent en pics isolés, comme Faron, Coudon, la Loube ou les deux Bessillons. On n'a qu'à comparer sur une Carte cette région comprise entre Marseille, Aix et Draguignan, à celle des Alpes-Maritimes, à l'ouest du Var (Cheiron et Roquesteron), pour être frappé de la différence profonde qui éclate dans le caractère des reliefs. D'un côté, c'est une série de chaînons qui se suivent régulièrement de l'est à l'ouest; de l'autre, c'est une réunion confuse de hauteurs sans orientation déterminée.

Absence de directions dominantes et de chaînons parallèles.

Un examen géologique sommaire de la région ne ferait que confirmer l'impression précédente : la grande plaine permienne que suit le chemin de fer et qui, comme je l'ai dit, forme ceinture aux Maures, est couronnée du côté opposé par une série de coteaux calcaires, terminés par de larges plateaux aux couches peu inclinées; les étages s'y succèdent en assises régulières, ainsi que l'indique déjà la coupe donnée par Dufrénoy et Élie de Beaumont dans l'*Explication de la Carte géologique de la France* (1). La vallée du Gapeau pénètre dans ces massifs, et montre les caractères d'une vallée d'érosion au milieu d'une série presque horizontale. Les bassins crétacés du Beausset et de Fuveau s'étendent sur de larges espaces avec l'apparence de couches peu déviées de leur position première. On peut se promener des heures entières sur les plateaux dénudés du Grand-Cap et de Cuers, entre Toulon et Brignoles, sans rencontrer autre chose que les calcaires néocomiens ou les dolomies du Jurassique supérieur. Çà et là, il est vrai, quelques accidents imprévus rompent l'uniformité et demandent une explication; mais, tant qu'on ne s'occupait pas de dresser la Carte, il était naturel de négliger provisoirement ces points singuliers, dont l'existence pouvait s'attribuer à des failles ou à des discordances locales, et de s'attacher surtout aux parties régulières pour y étudier la succession des couches et le détail des faunes. Dumortier, Coquand, Dieulafait et Jaubert, MM. Matheron, Hébert et Toucas ont pu recueillir ainsi une série de documents précieux, qui préparaient la voie et offraient une base solide à une étude stratigraphique d'ensemble; mais tous ces matériaux ont pu être amassés *sans qu'on soupçonnât que la Provence est un pays plissé.*

Grand développement des parties où les couches ont à peu près conservé leur stratification horizontale.

L'étude détaillée des terrains a pu être faite, sans qu'on soupçonnât que la Provence est un pays plissé.

(1) Tome II, 1848, p. 151 (*fig.* 22).

En 1877, M. Collot étudia la chaîne de Sainte-Victoire (1) et montra que le rôle des plis s'y combinait avec celui des failles. Un peu plus tard (1883), l'étude de la chaîne de la Sainte-Baume (2) me permit d'aller plus loin, en révélant des accidents tout à fait semblables aux accidents les plus caractéristiques des régions alpines et en montrant surtout que les failles, en partie au moins, étaient des *failles d'étirement,* intimement liées par conséquent au phénomène même du plissement. On put prévoir dès lors que l'immense compression qui a couché la Sainte-Baume sur la petite plaine du Plan-d'Aups a dû se faire sentir en même temps sur tout le pays, que c'est donc par elle, en dépit des apparences très spéciales constatées dans les différents accidents, que doit s'expliquer la plus grande partie des irrégularités et des anomalies observées. Les environs du Beausset (3), après plusieurs années de recherches, ont mis enfin en évidence ce lien caché : les plis de la Provence échappent d'abord à l'examen géologique, se dissimulent en quelque sorte, parce que ce sont pour la plupart des *plis couchés horizontalement;* ils ont amené certaines couches bien loin de leur position première, mais dans leurs grandes masses ils ont laissé ces couches déplacées horizontales. Les charnières anticlinales ont disparu par l'érosion et les charnières synclinales sont masquées en profondeur; c'est pour cela que les parties redressées et tourmentées occupent relativement peu d'espace. Les signes de reconnaissance ordinaires, couches en C ou couches en voûte (⌒), font défaut presque partout; il faut reconstruire les plis par induction.

Étude de la chaîne de Sainte-Victoire par M. Collot (1877).

Étude de la chaîne de la Sainte-Baume (1883).

Étude des environs du Beausset (1887).

La Provence est un pays de plis couchés horizontalement.

Rareté des affleurements des charnières synclinales et anticlinales.

Le schéma suivant (*fig.* 11) peut servir à mettre en évidence les relations possibles des différents phénomènes et les diverses apparences qu'on peut s'attendre à voir produites par la dénudation dans une série de plis couchés. Ce schéma suppose ces plis couchés réalisés avec leur maximum de simplicité théo-

Schéma général des plis couchés et des apparences produites par la dénudation.

FIG. 11. — Schéma des types apparents de structure produits par la dénudation dans une série de plis couchés.

I. Dénudation moins avancée : plis couchés masqués.
II. Ilôts de recouvrement.
III. Dénudation plus avancée : plateaux dénivelés par des failles.

(1) *Description géologique des environs d'Aix-en-Provence.* Thèse de doctorat. In-4°. Montpellier, 1880.

(2) *Bull. Soc. géol. de France,* 3e série, t. XIII, 1884-85, p. 115.

(3) *Bull. Soc. géol. de France,* 3e série, t. XV, 1886-87, p. 667.

rique, ce qui est d'ailleurs souvent le cas en Provence. Si l'on suppose que la ligne du sol soit en *abc*, on voit qu'à chacun des plis semblables (I, II et III) peuvent correspondre trois types apparents de structure, qu'il serait naturel d'attribuer tout d'abord à des actions profondément dissemblables. Dans le premier type, on se trouve en présence de deux séries de couches horizontales ou peu inclinées, l'une correspondant aux étages les plus récents de la région, l'autre à des terrains plus anciens. Ces deux séries indépendantes, et non plis-

Trois types de structure apparente à distinguer.

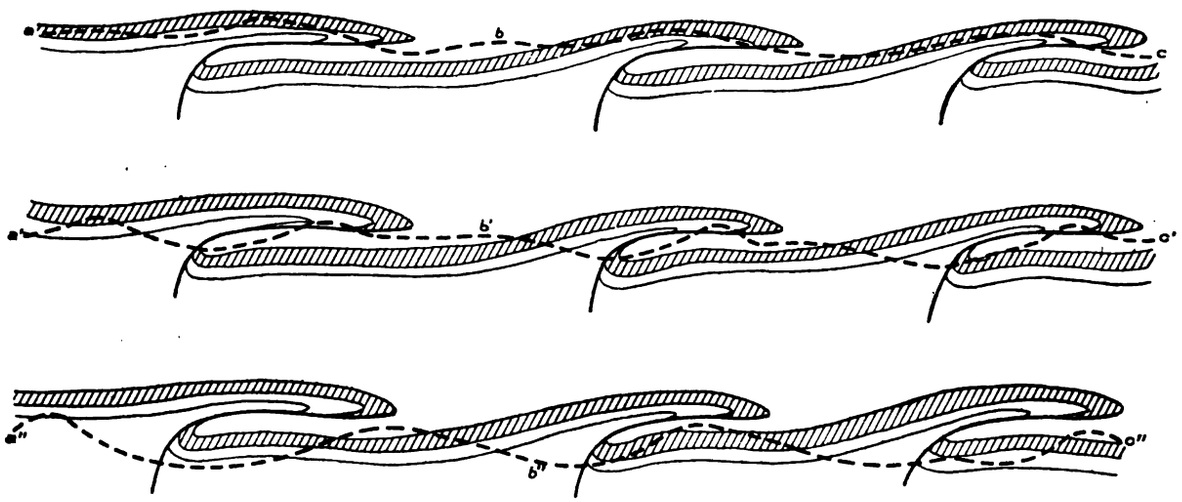


Fig. 12 (voir la légende de la figure précédente).

sées, sont en contact par une ligne plus ou moins sinueuse, qui se présente simplement comme une ligne de *faille*. Une observation minutieuse de cette soi-disant ligne de faille pourra seule montrer qu'il n'y a pas dénivellation verticale, que les terrains les plus récents continuent et s'enfoncent sous les plus anciens, et que, en certains points, il existe entre les deux séries des lambeaux de couches intermédiaires, dont l'ordre normal de stratification est renversé. A première vue, la sinuosité probable de cette ligne de contact, qui n'a aucune raison d'être rectiligne puisqu'elle est découpée par la dénudation dans une surface horizontale, pourra seule donner l'éveil et faire prévoir à quelle sorte de phénomènes on a affaire. La sinuosité des lignes de discontinuité dans les affleurements peut, il est vrai, comme j'en donnerai plusieurs exemples, résulter d'autres causes; ce n'en est pas moins un indice important, et il n'est peut-être pas inutile d'insister sur cette importance. Trop souvent, dans les Cartes géologiques, surtout en France, on se laisse aller à s'appuyer, inconsciemment ou non, sur l'ancien principe de la rectilignité des failles : quand ainsi, dans une contrée, il y a des masses épaisses de couches d'aspect uniforme, il est clair qu'une dénivellation dans ces couches est difficile à constater, et, réciproquement, il est

Premier type, produisant l'illusion de simples lignes de failles.

Sinuosité de ces prétendues lignes de failles.

Erreurs fréquentes dans les Cartes géologiques, parce qu'on présume la rectilignité des accidents.

presque impossible de démontrer que, dans une direction donnée, il n'y a pas de dénivellation qui les traverse; en se donnant le droit, d'après cela, de prolonger les failles réellement observées, dans les endroits *où l'on ne peut pas démontrer qu'il n'en existe pas,* on peut arriver à compléter un réseau de lignes droites ou à peu près droites, et à masquer la sinuosité quand elle existe réellement. Si l'on n'attache pas aux failles d'importance théorique, il faut, comme le font souvent les géologues suisses, laisser à ceux qui étudient la Carte, le soin facile de les reconnaître d'après la discontinuité des affleurements; si, au contraire, on y voit un élément important pour l'appréciation de la structure de la région, et qu'on tienne, comme on le fait toujours en France, à mettre cet élément en évidence, il ne faut marquer ces failles que là où l'on peut démontrer leur existence; le seul principe sur lequel on puisse s'appuyer pour combler les lacunes de l'observation est celui de la continuité, mais jamais celui de la rectilignité. Si évidente que paraisse cette remarque, j'ai eu bien souvent l'occasion de constater qu'elle n'est pas inutile.

Deuxième type (îlots de recouvrement), produisant l'illusion de discordances dans la série sédimentaire.

Le deuxième type correspond à une période de dénudation un peu plus avancée : la masse de recouvrement, c'est-à-dire la masse des terrains plus anciens amenés en superposition sur les terrains plus récents, a en grande partie disparu; il n'en reste plus que des îlots complètement isolés. Dans ce cas, il y a plus de chance pour que les affleurements mis au jour se rapprochent de la charnière synclinale et, par conséquent, pour qu'on puisse, par le retroussement de certaines couches, constater l'existence d'un pli; mais il n'est pas même nécessaire que cette partie plissée présente des renversements et, en tout cas, elle occupe un espace restreint par rapport aux affleurements horizontaux ou peu inclinés; l'impression première et dominante sera donc celle de larges bassins, à bords peu inclinés, au milieu desquels émergent, comme des écueils, des lambeaux de terrains plus anciens; l'interprétation naturelle, celle du moins qui a été le plus souvent donnée en pareil cas, c'est que ces écueils préexistaient au dépôt des couches qui les entourent; on est donc amené à conclure à des *discordances de stratification.* Le grand mouvement de plissement qu'a subi la région peut n'être plus complètement masqué, comme dans le premier type; mais son importance apparente est beaucoup diminuée, et il semble avoir été précédé par des dislocations locales qui ont accidenté le fond des mers et permis le ravinement des dépôts ainsi émergés. Il est vrai que, si l'on veut préciser, on arrive, pour les mouvements qui auraient créé ces discordances, à des localisations et à des irrégularités choquantes; mais la preuve de l'existence du pli couché ne peut réellement se faire que par la constatation de la petite bande de terrains renversés.

Troisième type, correspondant à une dénudation plus profonde, et pouvant créer

Enfin, le troisième type ne permet plus que des hypothèses sur la structure vraie de la région : la dénudation plus profonde a fait disparaître toute trace du pli couché; il n'en reste plus que le *noyau,* vertical ou légèrement

l'apparence de grands plateaux dénivelés par des failles verticales.

déversé; la surface suivant laquelle s'est effectué le glissement horizontal se prolonge plus ou moins en profondeur, toujours parallèlement au flanc du pli, c'est-à-dire en se rapprochant de plus en plus de la verticale. Il pourra se faire, il arrive même souvent que là encore cette *faille* supprime une épaisseur considérable de couches, et que, dans l'étude du noyau du pli, elle paraisse le phénomène principal. Ce sera, en somme, une grande ligne d'accidents (faille, pli monoclinal ou pli brusque) qui se suivra au milieu d'une région peu tourmentée, et, si tous les plis avaient été ainsi profondément entamés, l'aspect général de la région serait celui des grandes régions de plateaux montagneux, comme ceux du Tyrol ou de l'Utah; c'est-à-dire qu'on se trouvera en face de grands espaces horizontaux ou peu dérangés, séparés par des bandes plus compliquées, relativement étroites, pouvant même se réduire à de simples lignes de failles. On peut s'en convaincre en supposant que dans le schéma de la page 56 la surface du sol soit marquée par la ligne $a''b''c''$. Le caractère de fuseau plissé, de chaîne de montagnes au sens géologique du mot, peut être alors complètement effacé.

Ces explications montrent bien comment l'existence des plis couchés en Provence a pu si longtemps échapper à l'observation, et comment le caractère même de région plissée a pu y être méconnu. Les trois types précédents s'y rencontrent et ont concouru tous trois à masquer le rôle d'un grand refoulement d'ensemble. Mais, une fois l'existence de ces plis reconnue, il reste un autre problème à résoudre pour connaître et comprendre la structure du pays, c'est de suivre chacun de ces plis, pour se rendre compte de leur direction, de leurs relations mutuelles et de leur parallélisme plus ou moins accusé; en d'autres termes, après avoir constaté l'existence d'un mouvement de plissement, il faut se rendre compte de l'orientation suivant laquelle ce mouvement s'est propagé longitudinalement. Ce problème se trouve compliqué par la difficulté de choisir et de définir une *ligne directrice* d'un même pli. Dans le cas d'un pli droit, cette difficulté n'existe pas : la ligne directrice du pli, celle qui définit son orientation, sera l'intersection du *plan axial* avec la surface du sol; comme ce plan axial est vertical, ou même s'il est légèrement incliné, il n'y aura pas de déviation apparente due au plus ou moins grand degré de dénudation. Dans les plis couchés, il n'en est plus ainsi : la direction apparente dépend des affleurements, c'est-à-dire du relief du sol; elle est indéterminée dans toute la partie horizontale; elle ne reprend de signification précise que si l'on peut observer le noyau du pli. Si, comme j'ai essayé de le faire pour la Provence, on veut tracer sur la Carte des lignes qui représentent la position des différents plis, on est bien forcé de se guider sur les affleurements, et l'on ne peut même pas définir d'autre ligne directrice que l'intersection du sol avec la surface axiale, c'est-à-dire avec la surface qui sépare le flanc supérieur du flanc médian, les couches normalement superposées des couches renversées. Pour en corriger les irrégularités acciden-

Les trois types se rencontrent en Provence.

Nécessité de définir et de déterminer une ligne directrice de chacun des plis.

Difficultés de la question.

telles, il faudra recourir à une sorte de tracé moyen, un peu arbitraire en beaucoup de points, en tout cas déduit autant de l'interprétation que de l'observation directe; et même en faisant ainsi, il sera souvent difficile de décider si certaines inflexions apparentes n'ont pas leur raison d'être dans l'obliquité du pli. Il y a là une première cause qui pourrait suffire pour obscurcir ou même pour effacer toute trace d'orientation générale dans les accidents de la Provence et par suite dans ses reliefs, et pour imprimer à sa topographie le caractère confus que j'ai signalé plus haut.

Difficulté résultant de ce que les plis de la Provence ne se sont pas propagés en ligne droite.

Mais cette cause n'est pas la seule, ni même la plus importante. Il est certain que les plis de la Provence ne se sont pas partout propagés en ligne droite, ou qu'ils ont été déviés de leur direction première. Que la torsion soit originelle ou postérieure, elle est incontestable et peut se constater même dans des couches verticales. La direction est-ouest, qui s'observe en général dans les chaînons les plus accusés au point de vue du relief, passe à peu de distance à une direction nord-sud, et ne revient à la direction première qu'après des sinuosités plus ou moins marquées, et même, comme il est probable pour le massif d'Allauch, après de véritables boucles. La Provence est un pays de plis couchés, mais en même temps un pays de plis sinueux ou tordus; la différence avec une région plissée régulièrement, comme le Jura, ne se manifeste pas moins dans la direction des plis que dans la coupe de chacun d'eux.

La Provence est un pays de plis couchés, mais en même temps de plis sinueux.

Fréquence relative de la torsion des plis.

Ce phénomène de la torsion des plis, et même de leur torsion brusque et compliquée, est sans doute plus fréquent qu'on ne l'a pensé jusqu'ici. Il se retrouve dans plusieurs régions des Alpes, et notamment dans les environs de Castellane. Il est naturel d'en chercher l'explication ordinaire dans l'exagération du phénomène des décrochements transversaux, des *Blätter,* dont j'ai parlé plus haut; mais, quand il arrive à être aussi marqué et aussi général qu'en Provence, on peut se demander s'il est bien conciliable avec l'idée du refoulement d'ensemble, fondée précisément sur l'uniformité de direction et sur le parallélisme des plis. Même quand ces plis sinueux s'emboîtent parallèlement les uns dans les autres, ainsi que cela a été constaté dans les Alpes Apuennes par M. De Stefani (1), il est clair que la signification n'est plus la même. On est en présence d'une exception, qui n'infirme pas la règle générale ni les conclusions qu'on en tire, mais qui demande une explication spéciale.

Plis sinueux, s'emboîtant les uns dans les autres, dans les Alpes Apuennes.

L'explication, pour la Provence, peut se chercher dans la résistance exercée par le massif ancien des Maures.

Cette explication pourrait se trouver, pour la région qui nous occupe, dans ce fait que les Maures sont un massif ancien, émergé depuis longtemps, formé de roches rigides et, par conséquent, peu susceptible de céder, sinon en masse, aux efforts de plissement. Ce massif aurait joué le rôle d'obstacle résistant, de barrière dans la propagation des plis. On peut se rendre compte de ce rôle en se reportant à l'expérience classique de Hall : si l'on comprime des couches

(1) *Le pieghe delle Alpi Apuane.* In-8°, Firenze, 1889. Carte.

d'argile superposées dans une caisse, en rapprochant progressivement deux bords opposés de la caisse, ces couches s'ondulent en plis réguliers et parallèles. Mais, si l'on suppose qu'au milieu de ces couches plastiques et peu résistantes on ait introduit un bloc de granite, les plis produits dans l'argile devront évidemment se dévier à son contact; les uns s'y arrêteront brusquement, d'autres le contourneront; d'autres enfin, surtout si la compression a été brusque, se froisseront irrégulièrement en sinuosités répétées; des plis secondaires prendront naissance et, dans leur parcours limité, seront les plus irréguliers de tous. La confusion de ces froissements multiples ne cessera qu'à une certaine distance du bloc pour laisser reparaître le parallélisme général. Le massif des Maures aurait joué en Provence le rôle du bloc de granite au milieu des couches d'argile. Il est évident qu'il y a là une notion simple, facile à concevoir et correspondant bien à l'ensemble des faits observés. C'est celle que M. Suess a développée à propos des massifs qui bordent la chaîne alpine. Malheureusement, il existe une difficulté que je puis seulement indiquer ici : les terrains cristallins du massif des Maures ont certainement subi l'action des plissements dont ils auraient, en même temps, entravé ou dévié la propagation; du Puget à Gonfaron, les phyllades sont renversés sur le Permien, et aux environs mêmes de Toulon on peut, comme nous le verrons, constater l'existence d'un lambeau de ces mêmes phyllades superposé au Muschelkalk. La bordure, au moins, du massif cristallin témoigne donc de déplacements horizontaux, comparables à ceux des terrains sédimentaires, et l'hypothèse du *massif résistant* ne saurait être admise qu'avec de formelles restrictions.

Restrictions nécessaires à cette hypothèse.

Cette hypothèse reste pourtant jusqu'ici la seule à laquelle on puisse rattacher une explication de la sinuosité des plis, et au fond l'existence de plis, même de plis renversés et couchés, constatée dans les terrains cristallins, n'est pas incompatible avec l'idée d'une résistance exercée par l'ensemble du massif. L'affleurement actuel des terrains cristallins n'offre qu'une coïncidence grossière avec la limite des massifs anciennement émergés; là où ces terrains sont actuellement masqués sous les couches secondaires, plus ou moins régulièrement plissées, ils ont évidemment participé aux mouvements des masses qui les recouvraient, et il n'y a pas de raison pour que ces mouvements se soient arrêtés précisément aux points où la dénudation a fait disparaître le manteau des terrains plus récents, ni même précisément aux points où s'est arrêté le dépôt de ces terrains. La comparaison avec le bloc de granite n'est qu'une comparaison grossière, parce qu'elle introduit deux éléments distincts, susceptibles de mouvements indépendants; tandis que, dans le phénomène naturel, toutes les masses mises en jeu sont restées solidaires, les résistances ont varié progressivement d'un point à l'autre et, par suite, la notion d'une zone de résistance plus grande ne peut être qu'une notion un peu vague, et en tout cas incompatible avec la fixation de limites précises et tranchées.

Ces considérations ne sont pas applicables seulement à la Provence; ce n'est pas seulement dans les Maures qu'on a pu constater la propagation plus ou moins locale de plissements récents dans les massifs anciens. Ces faits contrediraient évidemment l'idée de blocs rigides interposés dans l'écorce; mais ils n'infirment pas celle de noyaux plus résistants, susceptibles de dévier les plis.

La sinuosité des plis pourrait être une apparence due à la superposition de deux plissements distincts.

Une autre idée se présente aussi naturellement à l'esprit : la sinuosité des plis pourrait être une apparence due à la superposition de deux plissements distincts. Lorsqu'on dit qu'un pli se contourne, il semble qu'on pourrait dire aussi bien que deux plis différents viennent se raccorder. Mais, pour que ces deux plis différents aient réellement une individualité propre, il faut qu'ils se continuent, ou au moins qu'un des deux se continue au delà du point de rencontre. Or, cela n'a pas lieu dans la plupart des exemples que nous aurons à citer; de plus, on peut voir très nettement dans plusieurs cas qu'il n'y a pas, à ces prétendus points de rencontre, enchevêtrement de deux directions distinctes, mais passage graduel d'une direction à une autre. Une exception doit pourtant être mentionnée pour la grande bande de Trias qui, sauf une courte interruption entre Nans et Saint-Zacharie, traverse obliquement toute la région du sud-ouest au nord-est; son allure est bien celle d'un grand pli indépendant de tous les autres. La manière dont ces autres plis viennent s'infléchir, parallèlement à la rencontre du pli transversal, rend cependant la question bien douteuse. Je ne fais ici que la signaler. Il est possible, mais non pas prouvé, qu'il y ait eu en Provence un système de plissements postérieur, et qu'il ait contribué à accentuer les sinuosités des anciens plis; en tout cas, ce second système de plissements a localisé son action sur une zone très étroite, qui est précisément celle où se sont déposés les terrains oligocènes discordants.

Dans ce Mémoire, je n'aborderai pas l'étude de ces questions encore obscures; j'accepte la sinuosité des plis comme un fait d'observation, sans en rechercher plus profondément les causes, et je me pose seulement le problème d'étudier, dans chacun des plis ainsi définis, la part qui revient aux déplacements horizontaux.

Affaissements postérieurs en Provence.

Avant de suivre de plus près le dessin complexe de ces plis successifs, je veux dire encore quelques mots d'un phénomène secondaire, dont il faut tenir compte pour l'interprétation de certaines coupes : c'est celui des affaissements postérieurs. J'ai dit plus haut que, d'une manière générale, après le plissement des chaînes, il y a des tassements, tantôt s'étendant à des compartiments importants, tantôt plus étroitement localisés, et que les affaissements ainsi produits, surtout apparents dans les chaînes anciennes, ont déjà laissé leurs traces dans les chaînes récentes. La Provence ne fait pas exception à cette règle, et quelques-uns de ces affaissements s'y présentent avec une netteté particulière. Ainsi entre Marseille, Cuges et Signes, dans une large bande de terrains qu'on peut regarder dans leur ensemble comme le bord à peine relevé de la cuvette

Bassins d'effondrement de Carpiagne, Carnoux, Rouvière et Chibron.

crétacée du Beausset, on observe au moins quatre de ces bassins d'effondrement, à Carpiagne, Carnoux, Rouvière et Chibron, jalonnant une traînée presque rectiligne de l'ouest à l'est. Tous sont allongés dans la même direction ; leur largeur ne dépasse pas 1^{km}, leur longueur varie entre 2^{km} et 4^{km}; ils ont, en général, enfoui des marnes aptiennes avec un peu de Cénomanien, quelquefois même comme à Chibron le Crétacé supérieur, au milieu des calcaires urgoniens ou des dolomies jurassiques. Ces dépressions ont été en partie comblées et nivelées par d'épaisses alluvions, et créent ainsi comme des oasis de cultures au milieu des masses rocheuses qui les environnent. Les petites plaines de Cuges et de Signes, qui se présentent sur le même alignement comme des trous ou mieux comme des lacs desséchés, à bords abrupts et taillés comme à l'emporte-pièce dans la série des collines, doivent évidemment leur origine à la même cause; mais là, les alluvions plus épaisses ont complètement recouvert et masqué les terrains effondrés. Dans les autres bassins, les bords longitudinaux sont marqués par deux cassures bien nettes, sans que les masses urgoniennes dessinent même à leur voisinage un commencement d'inflexion; l'amplitude de ces failles va en s'atténuant de part et d'autre, et elle tombe à zéro, si bien que sur les petits côtés il y a seulement inflexion des couches, sans fracture. On peut noter en passant une disposition intéressante de ces bassins effondrés, c'est que les couches y forment un bombement dans la partie médiane, et que les terrains les plus récents vont buter de part et d'autre contre les deux failles terminales ; la chose est surtout bien nette dans la plaine de Chibron (*fig.* 13).

Complications apportées par les affaissements dans l'étude des plis couchés.

Cette ligne d'accidents joue, il est vrai, un bien petit rôle dans la structure de la région; mais elle montre avec évidence la possibilité et la réalité des effondrements, et elle permet d'invoquer la même action, au moins à titre

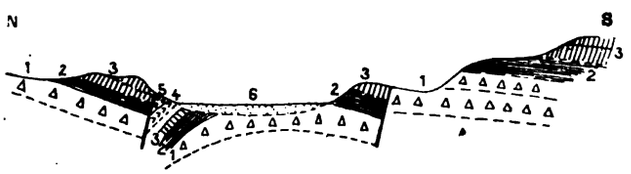


Fig. 13. — Coupe du bassin d'affaissement de Chibron.

1. Dolomies jurassiques; 2. Néocomien; 3. Urgonien; 4. Calcaires à Hippurites; 5. Poudingues supracrétacés; 6. Alluvions.

Échelle = 1 : 40 000.

d'hypothèse, pour expliquer d'autres faits, moins restreints comme extension superficielle, mais plus difficiles à interpréter : je veux parler des bassins tertiaires, notamment de ceux de Marseille et de Saint-Zacharie, peut-être aussi de celui de Saint-Maximin et de Brue-Auriac. Dans l'énumération sommaire des terrains de la région, je n'ai mentionné que ceux qui sont antérieurs au grand mouvement de plissement : or, postérieurement à ce mouvement, à

Structure des bassins tertiaires (oligocènes) discordants.

l'époque oligocène, des prolongements lagunaires, ou même complètement dessalés, de la mer se sont avancés assez loin vers le nord, sur l'emplacement de la vallée actuelle de l'Huveaune; là se sont déposés des calcaires et des marnes, avec *Palæotherium* à la base et *Helix Ramondi* au sommet, puis des masses importantes de poudingues, gagnant en épaisseur vers le nord et indiquant ainsi leur direction d'origine. Ces formations oligocènes sont nettement discordantes avec les terrains antérieurs; dans leur ensemble, elles ont rempli le fond de cuvettes synclinales préexistantes, en empiétant plus ou moins sur leurs bords déjà dénudés; ce qui, vu l'étirement fréquent des flancs, peut les mettre en contact avec les terrains les plus anciens. Mais ces couches oligocènes, quoique postérieures aux grandes dislocations, ne sont pas restées horizontales; en certains points, elles sont même relevées jusqu'à la verticale. Il peut suffire, pour cela, qu'il se soit produit une série d'affaissements longitudinaux au droit des anciens synclinaux; mais il peut se faire aussi que les compressions horizontales se soient continuées ou reproduites plus tard, qu'elles aient fait *rejouer* ces synclinaux ou, autrement dit, qu'elles les aient accentués, en entraînant alors dans ce dernier mouvement les couches plus récentes. Les deux hypothèses sont possibles, et, quoiqu'on ne puisse encore citer de preuve déterminante en faveur de l'une ou de l'autre, il importait de les mentionner ici; car, s'il fallait conclure que de nouvelles actions de refoulement ont été à l'œuvre après que les plis couchés existaient déjà, on conçoit que les grandes nappes horizontales amenées en recouvrement sur les étages supérieurs auraient pu être plissées à nouveau, et il y aurait alors des complications presque inextricables à prévoir. En fait, s'il y a eu une seconde phase de plissements, ce qu'on ne peut encore affirmer, les effets en tout cas en ont été très localisés, et il ne semble pas jusqu'ici que, du moins en Provence, les masses de recouvrement aient été soumises postérieurement à d'autres mouvements qu'à des mouvements d'affaissement; on en verra plus loin des exemples.

Double explication possible, par les affaissements, ou par un réveil des efforts de plissement.

Ainsi, en résumé, les complications des coupes de la Provence sont dues à trois circonstances superposées : ses plis successifs se sont déversés en amenant sur de larges espaces les terrains les plus anciens à recouvrir les plus récents; les lignes directrices de ces plis ne sont pas des lignes droites, mais décrivent souvent des sinuosités très marquées; et enfin des effondrements locaux ont encore accidenté la surface. Il peut donc sembler que le pays soit mal choisi pour y chercher la preuve nette et le type des grands déplacements horizontaux, dus seulement à la première de ces actions; mais fort heureusement, grâce aux explications précédentes, on peut arriver à y préciser la part des trois phénomènes distincts. Celle de la torsion des plis peut se faire à peu près complètement par l'examen de la Carte géologique, aujourd'hui terminée; la Carte ci-jointe (*Pl. I*) en résume le résultat; on y a fait figurer les *axes* des plis anticlinaux et synclinaux, avec l'approximation dont j'ai dit qu'il fallait se

Possibilité de préciser la part des deux autres éléments de complication : de la torsion des plis, et des affaissements postérieurs.

Carte donnant le tracé des plis successifs.

contenter; on y a, de plus, marqué par des hachures l'étendue des masses de recouvrement. Pour en faciliter la lecture, je vais suivre ici sommairement l'allure des quatre grands plis principaux, puis je décrirai chacun d'eux séparément.

Pli du Beausset.

En partant des Maures, le premier pli anticlinal que l'on rencontre est le *pli du Beausset*. De la pointe est de la baie de la Ciotat jusqu'à Ollioules, il se dirige presque en ligne droite; dans cette partie, il réalise successivement le premier type (I) et le type (II) indiqués plus haut. A l'est d'Ollioules, son parcours devient moins net; au milieu des plis secondaires, on perd la trace du pli principal, dont l'axe semble correspondre aux affleurements permiens du nord de Toulon. On peut suivre un peu plus loin une branche secondaire, qui s'infléchit au nord, pour aller se recourber au pied du Caoumé et disparaître entre le Faron et le Coudon, en approchant du massif ancien. Il y a là une règle générale : tous les plis successifs s'arrêtent avant d'atteindre la bordure permienne, ou, s'ils l'atteignent, ils s'y trouvent en quelque sorte noyés, sans qu'il soit possible d'en suivre la continuation.

Entre le pli du Beausset et le massif cristallin, s'ouvre le bassin synclinal de Bandol, qui ne se prolonge pas à l'est au delà de Toulon.

Bassin synclinal du Beausset.

Au pli du Beausset fait suite vers le nord le bassin synclinal du Beausset, qui vers l'est va se terminer également, en face des Maures, par la masse du Coudon, entièrement entourée par une faille comme celle du Faron. A l'ouest ce bassin, très élargi, s'accidente entre Aubagne et Marseille de deux plis secondaires, à directions assez fortement divergentes.

Pli anticlinal de la Sainte-Baume.

Le second grand pli anticlinal est le *pli de la Sainte-Baume*. Il a déterminé, au nord-est d'Aubagne, la principale ligne de relief de la région, avec une orientation rectiligne bien marquée sur 11^{km} du sud-ouest au nord-est. C'est seulement dans ce chaînon, et seulement sur cette longueur, qu'on trouve bien accusés les caractères normaux d'un pli alpin ordinaire; c'est l'étude de cette partie qui a pu donner la clef de la géologie de la Provence. Mais la continuation de ce pli est bien plus complexe que celle du Beausset. A l'est, il se ramifie en plusieurs branches : l'une, la plus septentrionale, longtemps inaperçue parce qu'elle passe en partie au type n° I, va border au sud de Brignoles le bassin crétacé de Camps, puis se perd dans les contournements infinis des terrains triasiques. La seconde descend brusquement au sud vers Signes, va rejoindre par Méounes la plaine de Néoules et de Garéoult, et prend fin avant d'atteindre la bordure permienne, au sud de Rocbaron; deux plis secondaires complètent ce réseau, allant toujours comme se heurter à la plaine permienne, l'un sous forme de pli étiré près de Cuers, l'autre sous forme de simple faille près de Carnoules.

Ramifications du pli en s'approchant de la bordure permienne.

Rattachement du pli de la Sainte-Baume au pli de la Nerthe; massif d'Allauch.

A l'ouest de la Sainte-Baume, le pli, comme la chaîne, semble se terminer brusquement. Là, il faut se résigner à laisser une part à l'interprétation; une série de failles transversales, liées peut-être à un grand plissement transversal, a établi comme un large fossé de séparation entre le pli de la Sainte-Baume et

celui de l'Étoile, qui borde plus à l'ouest le bassin de Fuveau. Cet intervalle est occupé par une bande oblique de Trias fortement plissé (bande de la vallée de l'Huveaune) et par le massif d'Allauch. Dans les complications de tout ordre qui s'y rencontrent, rien ne paraît rappeler la structure des plis voisins, qui se font face de part et d'autre. Il semble qu'on soit là en présence d'une partie surélevée, au-dessus de laquelle la dénudation a fait disparaître le raccordement primitif des deux plis, et où le type III se substitue momentanément aux types I et II. Bien des détails, comme on le verra plus loin, restent difficiles à expliquer; plusieurs hypothèses peuvent être proposées; mais, en tout cas, le rattachement du pli de l'Étoile au pli de la Sainte-Baume se dégage également, comme conclusion commune, de toutes ces hypothèses. Le pli de l'Étoile se poursuit vers l'ouest, sans nouvelle inflexion, par le chaînon de la Nerthe, et au delà du Rove il se perd dans les ondulations moins accusées des plateaux de Martigues.

Morcellement du bassin synclinal sur lequel est renversé le pli de la Sainte-Baume.

Le bassin synclinal sur lequel est renversé le pli de la Sainte-Baume est prodigieusement compliqué par la superposition de tous les accidents prévus plus haut, sauf à l'ouest, où il s'étale dans les plaines de Fuveau. En partant de l'est il donne d'abord naissance, entre Camps et le Plan d'Aups, à une bande crétacée continue, qui se recourbe elle aussi vers Saint-Zacharie; mais la manière dont les lambeaux de Rougiers, de Nans, de Saint-Maximin, de l'Olympe (les Poux) et de Regaignas se raccordent à cette première bande soulève une série de problèmes, dont une partie seulement peut être considérée comme résolue.

Pli anticlinal de Brignoles.

Le troisième pli anticlinal est le *pli de Brignoles*. A l'est il se termine, ainsi que les autres, mais plus brusquement qu'eux, contre la plaine permienne, presque à angle droit avec le bord des Maures. La place, il est vrai, n'est pas facile à préciser, au milieu des contournements multiples du Trias du Luc; mais on peut la déterminer sans grande erreur, au moins pour un schéma théorique, d'après celle du synclinal sur lequel il se renverse en plusieurs points. Il monte d'abord au nord-ouest jusque vers le Thoronet, puis s'infléchit vers l'ouest, et va au-dessous de Bras se raccorder à la ligne des coteaux triasiques qui, s'étendant du nord au sud entre Rougiers et la Verdière, sur près de 30^{km}, forme comme une barre transversale au milieu des chaînons dont la direction moyenne est généralement de l'est à l'ouest. La cause à laquelle est due cette barre triasique restera difficile à préciser, tant qu'on n'y aura pas suivi en détail la direction des bancs, et cette étude, rendue un peu longue et pénible par la multiplicité des plis secondaires ainsi que par la rareté des horizons de repère, n'a pas encore été faite. Mais dès maintenant, l'analyse des coupes des environs de Bras, relevées dans une tournée récente en compagnie de M. Zürcher, nous a amenés à admettre que le pli anticlinal de Brignoles tourne autour du bassin crétacé du Val, et revient par une inflexion de 180° former une seconde branche parallèle à la première, et qui, comme elle, va se perdre dans les ondulations

Barre triasique transversale de Rougiers et la Verdière.

Le pli de Brignoles se retourne et se rabat entièrement sur lui-même.

du Trias de Draguignan. Le pli de Brignoles offrirait ainsi l'exemple bizarre d'un pli qui, sur un parcours de plus de 40^{km}, est comme ployé en deux et complètement rabattu sur lui-même. C'est seulement dans les parties où il se contourne et dans celles où il revient vers l'est qu'il a amené le déversement des terrains jurassiques sur le Crétacé, et ce déversement se fait toujours sur le bassin synclinal du Val.

Bassin synclinal du Val, écrasé entre les deux branches du pli de Brignoles.

Ce bassin synclinal, comme écrasé entre les deux branches du pli anticlinal de Brignoles, tient sur la Carte une place beaucoup moins importante que les précédents; près du Luc et du Cannet-du-Luc, il n'englobe pas de couches crétacées; les dolomies du Jurassique supérieur et la bauxite, dont le développement dans toute cette région correspond à la lacune entre le Jurassique et le Crétacé supérieur, marquent seules la place du fond de la cuvette; entre le Thoronet et Vins, la bauxite repose même directement sur le Bathonien, mais elle est surmontée par des sables crétacés, qui augmentent d'importance vers l'ouest, jusqu'à Vins, où apparaissent les couches saumâtres fossilifères de l'étage de Fuveau.

Pli anticlinal de Salernes.

Le quatrième pli est le *pli de Salernes*. Celui-là rentre, sur la plus grande partie de son parcours, dans le type n° I; aussi a-t-on continué, même après que le pli du Beausset était connu, à invoquer de ce côté les failles et les discordances. Ce pli, dirigé de l'est à l'ouest, va se perdre comme les précédents, près de Lorgues, dans les ondulations de la bordure triasique; mais M. Zürcher a pu suivre le bassin synclinal sur lequel il se renverse, quoique ses affleurements ne soient plus marqués que par des lambeaux intermittents de sables crétacés; on le voit tourner là vers le nord, et se recourber vers le nord-ouest, pour former le bassin parallèle d'Aups. Il est même possible que le bassin d'Ampus, plus au nord, ne soit qu'un retour du même pli.

Sinuosités qui le rattachent, au nord-est, aux plis d'Aups et d'Ampus.

Sinuosités qui le rattachent probablement, à l'ouest, aux plis de Sainte-Victoire et de l'Olympe.

Du côté de l'ouest, le pli de Salernes va épouser, vers le nord, la partie supérieure de la bande triasique déjà citée. Entre Varages et Rians, un bombement moins accusé, mais avec fort étirement des couches sur ses flancs, relie cette bande au Trias de Rians, et par là aux plis de Sainte-Victoire, c'est-à-dire au bord septentrional du bassin de Fuveau. La chaîne de Sainte-Victoire s'abaisse brusquement en face d'Aix, et disparaît sous le manteau des terrains oligocènes et miocènes; il est possible que le pli anticlinal cesse tout d'un coup, mais on peut supposer aussi que la chaîne représente là un pli double, c'est-à-dire un pli qu'une sinuosité brusque ait fait se replier sur lui-même. En tout cas, la voûte surbaissée de Pourrières rattache par une nouvelle inflexion, presque avec rebroussement, ce pli à celui de l'Olympe et de Regaignas, et le pli de Salernes viendrait ainsi, après tous ces contournements, mourir à quelques centaines de mètres du pli de la Nerthe.

Pli secondaire d'Esparron, prenant naissance à l'intérieur de la grande boucle décrite par le pli précédent.

Il faut encore citer le *pli d'Esparron,* pli secondaire et de faible parcours, couché sur le bassin d'Esparron et bordant le nord du bassin tertiaire discor-

dant de Brue-Auriac. Ce pli secondaire, et le pli synclinal qui lui est associé, ont pris naissance à l'intérieur de la grande boucle décrite par le pli de Salernes.

Cette énumération permet d'étudier séparément et de suivre les coupes de chacun des plis.

Dans l'énumération qui précède, j'ai dû nécessairement, pour ne pas trop sortir du sujet que je veux traiter, me contenter de donner les résultats, sans entrer dans le détail des faits sur lesquels ils sont fondés; j'ai seulement indiqué les points encore douteux. Tous les plis sont interrompus par une grande bande transversale de Trias (bande de Saint-Maximin et de Verdière) qui, si l'on y rattache la bande analogue de la vallée de l'Huveaune (de Saint-Zacharie à Marseille), traverse en écharpe toute la région étudiée. De part et d'autre, les raccordements sont nécessairement hypothétiques, d'autant plus que le rôle et l'origine de cette bande transversale restent encore mal expliqués. L'allure des plis, telle que l'indique le schéma de la planche I, est, dans l'état des observations, *la plus probable*, mais elle reste sujette à revision. Il m'a semblé nécessaire de donner ce schéma dès le début, malgré cette part d'incertitude, parce qu'il pouvait seul introduire un ordre facile à suivre dans les descriptions, et parce qu'il permet en tout cas de se faire une idée du rôle que, dans les anomalies de la Provence, joue la sinuosité des plis. Les autres difficultés s'expliqueront soit par l'existence même des plis couchés avec *recouvrements*, soit par la combinaison de ces *recouvrements* avec les affaissements postérieurs. L'étude détaillée des coupes de chaque pli, normalement à sa direction, permettra maintenant de faire, à leur tour, la part de ces deux actions, et par conséquent de déterminer le rôle et de comprendre le mécanisme des grands déplacements horizontaux.

Je commencerai la description par le pli le plus méridional, celui du Beausset; je continuerai ensuite, en remontant progressivement vers le nord, par les plis de la Sainte-Baume et de la Nerthe, puis par celui de Brignoles, et enfin par le pli de Salernes, pour terminer par sa continuation probable dans les chaînes de Sainte-Victoire et de l'Olympe.

2° Le pli du Beausset.

Chaînon du Gros Cerveau.

La direction générale du pli du Beausset a été indiquée précédemment; son flanc septentrional forme, entre la route de Bandol et Toulon, un chaînon élevé, mentionné sur la Carte sous les noms de Gros Cerveau et de Cap Gros; ce chaînon est formé par le relèvement des couches du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur; ces dernières, presque verticales, forment au nord un grand escarpement, qui domine la région faiblement ondulée du Beausset, où les terrains crétacés supérieurs, avec un pendage rapidement diminué, s'étendent presque horizontalement et en succession régulière sur plusieurs kilomètres de

Ilot triasique du Beausset.

largeur. Au milieu de ce bassin, d'apparence si tranquille, on a signalé depuis longtemps une curieuse anomalie : la colline qui s'élève au sud du Beausset, entre les deux routes de Bandol et de Toulon, a tous ses sommets formés de Trias et d'Infralias; ces terrains plus anciens constituent ainsi un îlot complètement isolé au milieu du Crétacé. Deux petits affleurements des mêmes terrains, couvrant à peine quelques centaines de mètres carrés, se retrouvent encore un peu plus au nord, auprès du Castellet. Pour les géologues qui ont successivement étudié la région, l'explication, jusqu'à ces dernières années, n'a pas semblé douteuse : ce Trias a toujours été considéré comme un récif, comme une saillie du fond de l'ancienne mer crétacée; le Sénonien se serait déposé contre les flancs de cet îlot, dans la position même où nous voyons aujourd'hui ses couches horizontales. C'est l'interprétation que traduit la coupe ci-jointe (*fig.* 14), empruntée à M. Toucas.

L'îlot triasique du Beausset est superposé au Crétacé.

D'après tous les développements que j'ai donnés plus haut, on comprend qu'il y a une autre interprétation possible : c'est que le Trias soit superposé au Crétacé, que ce soit un lambeau d'une masse autrefois continue, liée au pli dont

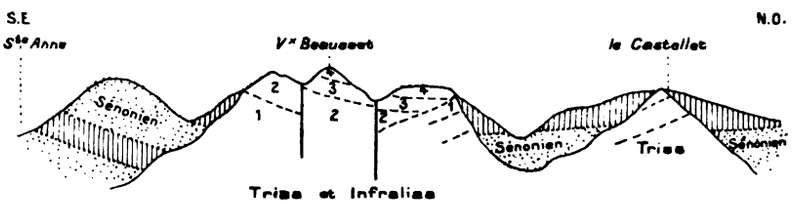


Fig. 14. — Coupe des collines du Beausset, d'après M. A. Toucas.
(*Mémoires de la Société géologique de France*, 2e série, t. IX, n° 4, 1873, p. 48.)

1. Grès bigarré; 2. Muschelkalk; 3. Marnes irisées; 4. Infralias.

Longueurs = 1 : 60 000; hauteurs = 1 : 30 000.

on voit l'amorce, à peine renversée, au Gros Cerveau. Cette seconde interprétation se trouve traduite par la coupe que j'ai mise en face de la première (*fig.* 15).

Il faut avouer qu'au milieu d'un ensemble de couches si régulières, ne semblant nulle part porter la trace d'actions mécaniques, cette interprétation est faite pour surprendre, et que l'esprit le moins prévenu ne se résignera à l'admettre que sur des preuves certaines et indéniables. Toutes les preuves indirectes que l'on peut attendre de l'observation se trouvent en effet réunies au Beausset; elles sont confirmées par les preuves matérielles qu'ont fournies, dans les collines situées plus à l'ouest, des travaux et des puits de mines. Il importe de donner toutes ces preuves en détail, car c'est la base même de toutes les conclusions déjà signalées dans leur ensemble.

L'existence d'un pareil récif dans les mers sénoniennes de la Provence est inadmissible.

D'abord, il n'est pas inutile de faire ressortir les considérations qui, *a priori*,

rendent à peu près inadmissible l'existence d'un pareil récif dans les mers crétacées de la Provence.

J'ai dit plus haut que toutes les assises de la région étaient parfaitement concordantes entre elles, depuis le Permien jusqu'à la base du Tertiaire. Nulle part il n'y a d'indices de rivages immédiats, sauf en se rapprochant du massif des Maures, et l'inégalité des conditions de sédimentation, qui d'ailleurs, dans son ensemble, dessine des zones concentriques parallèles au bord du massif ancien, ne donne aucunement le droit de conclure à des émersions partielles du bassin. Pendant la période crétacée, les dépôts d'une même époque ont pu avoir aux différents points des épaisseurs très différentes; il a pu même y avoir, en certains points, absence de dépôts; mais l'étude stratigraphique conduit à affirmer que les eaux marines n'ont cessé de recouvrir tout le bassin actuel, et que probablement même elles s'étendaient beaucoup plus loin. La concordance complète de la stratification, même quand il y a lacune, semble exclure pour toute cette période la possibilité de mouvements irréguliers du sol, ou d'émersions suivies de dénudation, comme il faudrait en supposer pour expliquer la présence de ce relief.

Elle serait en contradiction avec la concordance générale de la série, constatée dans le reste du pays.

Mais la continuité n'est pas moindre entre le Jurassique et le Crétacé; on n'a qu'à se rappeler, pour s'en convaincre, les longues discussions auxquelles a

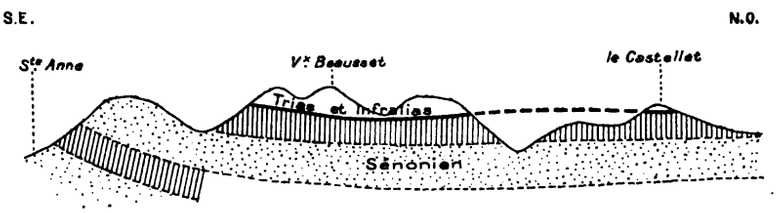


Fig. 15. — Coupe du Vieux-Beausset à Sainte-Anne et au Castellet.
(*Bulletin de la Société géologique de France*, 3e série, t. XV, 1886-87, p. 668.)

Longueurs = 1 : 60 000; hauteurs = 1 : 30 000.

donné lieu, avant l'étude détaillée de la région, l'attribution des calcaires blancs à Chamacées, coralliens pour les uns et urgoniens pour les autres. Actuellement encore, ce n'est guère que par la comparaison avec les contrées plus fossilifères qu'on peut fixer la véritable place de ces calcaires et déterminer la limite du Jurassique et du Crétacé. La concordance se poursuit entre les divers termes du Jurassique, et la plus grande uniformité des dépôts de même âge témoigne même, pour toute cette période, d'une mer plus largement ouverte que pendant la période crétacée. La liaison est intime entre l'Infralias et le Trias, comme d'ailleurs entre le Trias et le Permien, au point même de rendre incertaine la place exacte des limites; et ces considérations s'appliquent à toute la région qui environne le bassin crétacé, au nord aussi bien qu'au sud et à l'est.

Il faudrait donc, s'il y avait eu réellement auprès du Beausset une saillie du fond des mers crétacées, due à un mouvement antérieur du sol, que ce mouvement ait été absolument local, et que le contre-coup ne s'en soit fait sentir en aucun autre point; ce qui, on l'avouera, est contraire à toutes nos notions de géologie dynamique; et, entre l'Infralias et le Sénonien, rien ne nous indiquerait, dans la structure de la région, l'époque à laquelle on peut placer ce mouvement si étroitement localisé. Il faudrait en revenir à la théorie des soulèvements en dômes, et encore les pendages des couches dans l'îlot triasique ne correspondent à rien de semblable.

L'hypothèse d'un soulèvement local en dôme ne concorderait pas avec l'allure peu inclinée des pendages.

L'hypothèse d'une émersion plus ou moins prolongée, avec érosions du sol, peut paraître plus facile à soutenir; elle diffère peu, au fond, de la précédente, seulement elle demande des mouvements moins accentués. Mais les objections, dans ce cas, ne sont guère moins fortes. Comment une érosion aussi puissante aurait-elle été assez localisée pour qu'on n'en rencontre nulle part d'autre trace? Comment aucun des débris entraînés ne se retrouverait-il dans un des dépôts contemporains du voisinage? De plus, les formes topographiques du terrain et la composition des assises sénoniennes s'accordent mal avec l'hypothèse.

L'hypothèse d'une émersion locale, avec dénudations, se heurte à des objections aussi fortes.

En effet, quelque faible épaisseur qu'on suppose au placage sénonien (*fig.* 14), la colline qui subsisterait, si l'on en fait abstraction, présenterait en beaucoup de points une pente tout à fait inusitée, surtout si l'on remarque que les flancs devaient en être formés de marnes gypseuses, surmontées d'une assez grande masse de calcaires. Aucun débris des calcaires ne se montre dans les couches sénoniennes; aucune modification au contact des masses gypseuses ne se fait remarquer dans leur composition. Il faudrait donc que la mer eût battu pendant une énorme série de siècles ces falaises délitables, sans qu'une dissolution progressive, sans qu'un éboulement brusque s'y soit produit. Et pourtant cette même mer, inoffensive au Beausset, aurait arraché, comme le montrent les poudingues de la Ciotat, des milliers de kilomètres cubes à des falaises plus méridionales, aujourd'hui disparues.

Enfin, il y a un dernier fait qu'on peut dès maintenant signaler : on trouve des lambeaux crétacés dans un vallon à l'intérieur de l'îlot. Ce vallon aurait donc existé, à peu près avec son profil actuel, à l'époque sénonienne; et alors il faut admettre que, depuis cette époque, c'est-à-dire pendant toute la durée des temps tertiaires et quaternaires, les actions de dénudation, qui ont modelé et dénivelé considérablement toute la région, ont été impuissantes à creuser plus profondément ce petit vallon, et qu'elles en ont respecté le profil primitif. Toutes ces conséquences sont bien difficilement acceptables et, l'on doit convenir, d'après ce simple exposé, que l'hypothèse du récif triasique, simple et séduisante au premier abord, serait en contradiction avec les principes les moins incertains et les moins contestés de la géologie générale.

Si le Trias n'est pas un récif, s'il n'est pas une île de l'ancienne mer crétacée,

il faut supposer que ce sont des actions mécaniques qui l'ont amené dans sa position actuelle. Deux hypothèses sont alors à discuter : l'une est celle d'un pli couché, produit conformément à la théorie développée plus haut; on peut répugner à en admettre même l'idée, en raison de l'absence de couches retroussées et de contournements directement observables. La seconde serait celle qu'on adopte généralement pour les *Klippen* des Carpathes : les compressions latérales, au lieu de former, comme c'est le cas le plus ordinaire, un pli anticlinal, auraient forcé la masse du Trias à se faire une trouée, et à surgir au milieu des assises moins résistantes. Cette explication, dont la légitimité, même pour les Carpathes, soulève bien des réserves, est ici en tout cas inadmissible, parce que les assises crétacées sont tout à l'entour restées horizontales. La

Hypothèse d'une percée mécanique du Trias au milieu du Sénonien.

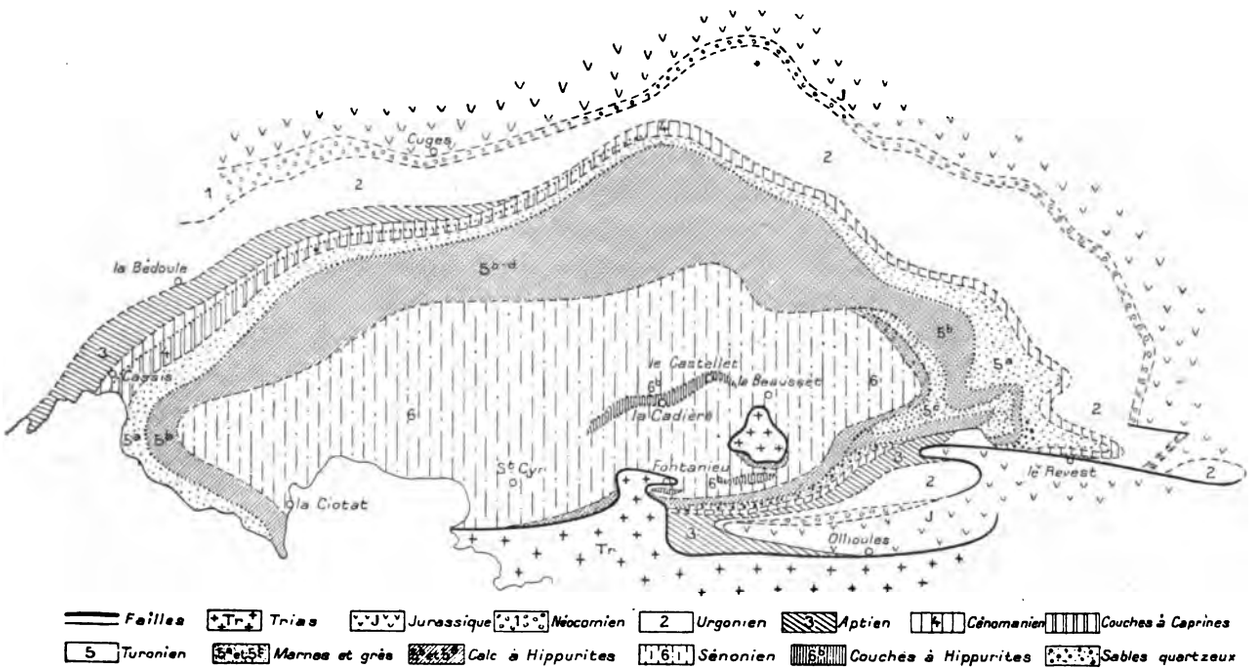


Fig. 16. — Répartition des terrains et des faciès dans le bassin du Beausset.
(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XV, p. 676.)
Échelle = 1 : 250 000.

trouée en elle-même est peu vraisemblable; mais le trou fait à l'emporte-pièce, sauf dans le cas des roches éruptives pour lequel on peut invoquer les actions chimiques, n'est pas même à discuter.

La conséquence de cette discussion est qu'aucune explication ne s'impose *a priori* par l'examen d'ensemble de la question, que toutes soulèvent des difficultés sérieuses, et qu'il faut recourir à l'observation de détail pour savoir si le Trias est réellement superposé au Crétacé.

Impossibilité de vérifier directement la superposition.

L'idée qui vient tout d'abord est de chercher à vérifier la superposition. Les affleurements de Trias et d'Infralias apparaissent assez uniformément vers la cote 250; leur courbe correspond donc assez bien à la section de la colline par un plan sensiblement horizontal. Mais nulle part, le long de cette ligne, une coupe nette ne permet de juger avec certitude des rapports de position du Crétacé et du Trias; en un point seulement, à l'ouest du Canadeau, j'ai pu voir les couches à *Ostrea acutirostris* s'enfonçant sous un talus de marnes irisées; mais ces dernières peuvent être éboulées, et l'on ne peut, de cette observation unique, tirer une conclusion. En d'autres points, il semble au contraire manifeste que le Crétacé bute contre le Trias; mais il a pu y avoir tassement postérieur. Pour se rendre compte combien il est difficile, à défaut de tranchées continues et profondes, que ces observations de contact mènent à un résultat certain, il suffit d'avoir examiné avec soin une falaise de calcaire à Entroques au-dessus du Lias: pendant des kilomètres entiers il serait impossible, si la superposition pouvait paraître douteuse, d'en donner une preuve matérielle, les éboulis masquant le contact, ou les tassements, qui ont enfoui de grands blocs calcaires dans les marnes, lui donnant l'apparence d'un contact par faille. C'est l'étude séparée des séries en contact qui permet seule de formuler une conclusion certaine sur leur position respective.

Étude détaillée des séries en contact.

Autour de l'îlot du Beausset, cette étude comparée n'apprend rien de nouveau et ne montre aucune particularité pour toute la moitié septentrionale. Le Sénonien présente la série normale et régulière des couches supérieures aux Hippurites de la Cadière : au nord-est, au-dessus de Mazan, on commence à trouver les calcaires marneux à *Ostrea Matheroni* et à *Lima ovata,* qui sont en contact avec les gypses; au nord-ouest, au-dessus d'Allègre, la série monte jusqu'aux couches à Turritelles, c'est-à-dire aux premières couches légèrement dessalées qui ont inauguré le régime lacustre de la fin de la période crétacée; d'ailleurs, comme je l'ai déjà dit, aucune de ces assises n'est influencée ni comme faune, ni comme composition minéralogique, par le voisinage du Trias. Mais au sud, c'est-à-dire à partir de la Mame, au sud-ouest, et au sud-est, à partir des hauteurs qui dominent Sainte-Anne, les choses changent, et l'on trouve avec étonnement, au-dessus de la série complète du Sénonien et des premières couches saumâtres, une nouvelle masse d'Hippurites, ayant jusqu'à 10^m d'épaisseur. Il peut sembler qu'on trouve là enfin l'influence de l'îlot, du récif, sur les couches voisines, et que ce soit là l'explication de l'apparition de ces Hippurites, à un niveau où nulle autre part elles ne se montrent dans le bassin; mais partout, à l'entour, cette époque correspond à l'établissement d'un régime saumâtre; partout la dessalure se fait d'une manière progressive, sans trace de retour offensif de la mer; et le voisinage de l'îlot, s'il a pu favoriser le développement local des Hippurites, n'expliquerait pas le retour local à un régime franchement marin.

Barre d'Hippurites qui, au sud de l'îlot, apparaît au-dessus des premières couches daniennes.

Les Hippurites de cette barre supérieure sont d'ailleurs semblables à celles qu'on trouve dans le Val d'Aren, c'est-à-dire tout en bas de la colline, au-dessous des marnes sénoniennes à *Micraster brevis* et au-dessus des sables quartzeux turoniens qui accidentent le ravin d'une manière si pittoresque. Ces Hippurites, quoique reposant sur le Sénonien, sont donc turoniennes, et d'ailleurs en trois points, au-dessus de Sainte-Anne, à Fontvive et au Petit-Canadeau, on peut observer en détail la série des couches qui surmontent les Hippurites, et constater que cette série reproduit deux fois les mêmes assises en ordre inversé; en d'autres termes, le haut du talus, près du contact avec le Trias, est formé par des couches plus anciennes que la base, repliées sur elles-mêmes et renversées.

Ces Hippurites sont un retour de la barre turonienne du bas du coteau.

Le Danien saumâtre est surmonté par la série renversée et étirée des couches sénoniennes et turoniennes.

Le point où les observations sont les plus nettes et les plus décisives est le voisinage du Petit-Canadeau; à l'ouest de cette propriété, on peut voir dans les vignes les couches à *Ostrea acutirostris,* surmontées par les couches à Turritelles, bien en place et superposées à la série régulière du Sénonien, qui occupe tout ce flanc du Val d'Aren. Les couches à Turritelles ont là un développement inusité, et, il y a quelques années, les défoncements faits pour les nouvelles plantations de vignes américaines ont mis au jour, au milieu de ces bases, une petite couche charbonneuse, dont la place d'ordinaire, bien connue à Fontanieu et au Plan d'Aups, est, au-dessus du même ensemble, à la base de la série valdonnienne des couches à *Melanopsis.* Il y a là au moins une présomption sérieuse pour que les bancs à Turritelles soient répétés deux fois et repliés sur eux-mêmes. En tout cas, la série est complète et régulière jusqu'au sommet des dernières couches marines de la région. S'il n'y avait pas d'accident, ce sont les couches de Valdonne et de Fuveau qu'on devrait s'attendre à trouver plus haut. Or, si l'on suit le chemin du Petit-Canadeau au Beausset jusqu'au col voisin, on reste sur une série de couches ondulées dont le premier caractère, le plus frappant, est la présence en plusieurs points de nombreuses Hippurites. Il est facile, malgré les ondulations des couches, de relever la coupe de cette série et de constater les superpositions. On trouve alors sur une faible épaisseur, une vingtaine de mètres au plus :

1° Un banc d'*Ostrea acutirostris,* reposant sur les couches à Turritelles;

2° Des calcaires durs et noduleux, avec Foraminifères, reproduisant l'aspect des couches à *Lima ovata;*

3° Des calcaires à Hippurites, avec une coupe d'Actéonelle (barre de la Cadière?);

4° Des marnes et calcaires gréseux, masqués par les éboulis et la végétation;

5° Une barre épaisse (8^{m} à 10^{m}) de calcaires compacts à Hippurites, appartenant aux mêmes groupes que les Hippurites de la barre inférieure du Val d'Aren;

6° Des sables quartzeux grossiers, identiques aux sables turoniens du Val d'Aren.

Ces sables n'apparaissent qu'en un point, derrière la ferme, où ils ont été exploités; ils semblent presque remplir une poche dans les calcaires à Hippurites. A leur partie supérieure, deux poches plus petites de calcaires noduleux, très spathisés et sans fossiles, forment enfin un dernier terme, en contact direct avec les dolomies infraliasiques. On peut voir dans ces calcaires noduleux les représentants rudimentaires de la série aptienne de l'autre côté du vallon.

La superposition des couches à *Ostrea acutirostris* aux couches à Turritelles, puis la réapparition des Hippurites et des sables quartzeux au sommet, forment un ensemble de faits qui ne peut guère laisser place au doute, même en l'absence de fossiles d'une signification générale. C'est la série complète qui reparaît, *réduite et renversée*. On peut, dans les bancs à Hippurites, au milieu des Hippurites, en général couchées horizontalement, en observer quelques-unes qui ont conservé la station verticale; l'ordre relatif des piliers et de l'arête cardinale permet de constater qu'elles sont alors en position inverse de leur position normale, avec la valve supérieure en bas. C'est là un nouvel indice qui vient confirmer les conclusions tirées de l'ordre de superposition des bancs.

On pourrait s'étonner, il est vrai, de voir ainsi réduite à quelques mètres une série qui, normalement, et dans les points immédiatement voisins, compte plus

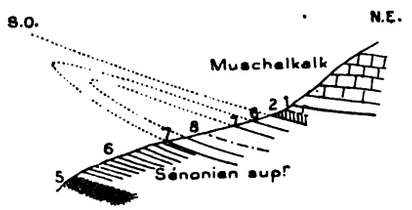


Fig. 17. — Coupe du Canadeau.
(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XV, p. 685.)

1. Sables turoniens; 2. Calcaires angoumiens; 5. Provencien; 6. Sénonien; 7. Couches à *Ostrea acutirostris*; 8. Banc à Turritelles.

C'est la preuve de l'existence d'un pli synclinal couché.

de 200m d'épaisseur; mais, comme je l'ai expliqué, ces étirements et ces suppressions de couches sont la conséquence naturelle et presque nécessaire de l'existence d'un pli couché, et le fait même du renversement suppose, sous une forme ou sous une autre, l'existence d'un pli couché. C'est ce que montre la figure 18. Cette conclusion est d'ailleurs confirmée, d'une manière encore plus irréfutable, quand on cherche à suivre vers l'ouest la continuation des mêmes phénomènes. En face des collines du Vieux-Beausset, séparées d'elles par la dépression que suit la route de Bandol, s'élèvent les collines du Télégraphe de la Cadière; là, le Trias existe également, et il couronne aussi le plus haut sommet, mais il est rejeté plus au sud, et fait corps avec les affleurements réguliers

Ce pli synclinal couché peut se suivre, vers l'ouest, jusqu'à la mine de Fontanieu, où le retour de la couche de charbon sur elle-même a été constaté, et jusqu'au col de Maren, où affleure la charnière synclinale des couches à *Ostrea acutirostris*.

d'Ollioules et du sud du Cap Gros. La série crétacée est en même temps plus complète, et l'on trouve, au-dessus des bancs déjà mentionnés, la série, puissante de 100m au moins, des calcaires à Cyrènes de Fuveau ; à la partie supérieure existe même un banc de lignite, longtemps exploité à Fontanieu. Si l'on suit par exemple, à partir de la Cadière, le chemin qui, par Saint-Éloi, va passer à l'ouest du Signal, on trouve la succession régulière et fossilifère du Sénonien supérieur, jusqu'aux couches à Turritelles, surmontée par les bancs à *Melanopsis galloprovincialis* et par les couches à Cyrènes, c'est-à-dire par les représentants de l'étage danien. Un peu avant le Signal, on rencontre un vallon transversal, dans lequel affleurent à l'est les lignites exploités à Fontanieu. Ce vallon est bordé au sud par le Trias; en suivant le contact vers l'ouest, et par conséquent en restant au-dessus des calcaires à Cyrènes, on peut observer un affleurement des couches à *Ostrea acutirostris*, qui partagent la pente générale vers le sud et plongent sous le Trias. La récurrence de bancs marins au milieu de l'étage lacustre est inadmissible; là encore, il faut donc conclure à un retour des couches plus anciennes par plissement, c'est-à-dire à l'existence d'un pli synclinal couché (*fig.* 22).

Si la conséquence est exacte, la couche de charbon a dû participer à ce mouvement, et les travaux qui l'ont explorée ont dû constater une inflexion corres-

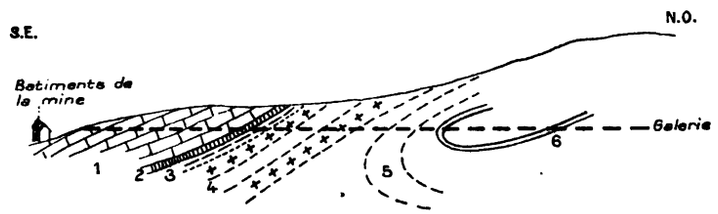


FIG. 18. — Coupe de la galerie de Fontanieu.
(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XVI, p. 80.)

1. Muschelkalk ;
2. Marnes irisées gypsifères ;
3. Marnes froissées avec morceau d'Urgonien ;
4. Calcaires à Hippurites ;
5. Couches à *Melanopsis* et à Cyrènes ;
6. Lignite.

pondante de la couche. C'est bien ce qui a eu lieu : la couche, suivie vers le sud, s'est renflée, a présenté une partie verticale, puis s'est recourbée vers le nord en s'amincissant et disparaissant assez rapidement. Les travaux ont donc montré l'existence de la *charnière synclinale* du pli, avec étirement brusque de la partie renversée (*fig.* 18).

D'ailleurs, un peu plus loin, on peut faire au jour une observation analogue et toucher un autre point de cette charnière synclinale : en suivant vers l'ouest le bord de l'affleurement triasique, on ne tarde pas à voir réapparaître les calcaires à Hippurites au-dessus de l' *Ostrea acutirostris*, et à voir s'intercaler, entre les deux, les couches sénoniennes fossilifères. Près du col qui mène à

Maren, presque au pied de la dépression où la Carte d'État-Major indique à tort une route charretière menant de la Cadière à Poutier, on observe de bas en haut la succession suivante :

1° Banc à *Ostrea acutirostris;*

2° Couches à Turritelles;

3° Banc à *Ostrea acutirostris;*

4° Calcaire noduleux (zone à *Lima ovata*) (6^{m} environ);

5° Gros bancs de grès et calcaire gréseux avec Huîtres, Janires et *Platycyathus Terquemi* (10^{m} à 15^{m});

6° Calcaire à Hippurites.

Le renversement des couches supérieures est donc incontestable; mais de plus, en suivant les deux bancs à *Ostrea acutirostris,* on les voit se réunir et dessiner ainsi l'extrémité convexe du pli qui englobe les Turritelles.

Ainsi toute part d'hypothèse, si faible qu'elle soit, se trouve éliminée, et il est pleinement démontré que les couches sénoniennes, au pied de l'îlot du Beausset, *forment un pli synclinal couché.*

Le pli synclinal couché se continue sous l'îlot triasique.

Il reste maintenant à prouver que ce pli couché, dont l'ouverture regarde le nord, n'est pas arrêté par l'îlot triasique, mais qu'il se continue sous cet îlot; que les couches qui le forment ne butent pas contre le Trias, mais passent au-dessous de ses affleurements; que par conséquent le Trias est superposé au Crétacé. Comme j'ai expliqué qu'au contact les rapports de position n'étaient nulle part observables, il semble d'abord que la preuve de cette assertion soit impossible à faire, à moins d'un puits ou d'un sondage qui traverse le Trias.

L'érosion a creusé dans le Trias des vallons où affleure le Crétacé.

Mais, heureusement, la nature a fait elle-même le travail : l'érosion a creusé dans la masse des assises triasiques des vallons assez profonds, et l'un d'eux laisse apparaître le Crétacé; c'est celui qui, un peu au nord du Canadeau, passe entre les fermes de la Mame et du Rouvre et va aboutir près d'Allègre.

Cet affleurement est limité de toutes parts par le Trias. Il a surtout été étudié près de la ferme du Rouvre, où les travaux de culture amènent au jour en abondance les fossiles de la zone à *Lima ovata;* les couches mêmes sont en place sur les bords du ravin, surmontées par le banc à *Ostrea acutirostris;* plus bas on trouve les couches à Turritelles, dont la présence à ce niveau s'explique par l'inclinaison locale des bancs vers l'ouest. Il n'y a donc pas là de renversement; mais un peu plus au nord, à l'ouest du chemin du Beausset à Canadeau, le long du petit sentier qui mène à la ferme de la Mame, on retrouve la succession signalée dans les différentes coupes du bord méridional de l'îlot, c'est-à-dire les couches à Turritelles, le banc à *Ostrea acutirostris*, et en haut le calcaire à Hippurites. *Le Crétacé est donc renversé;* c'est, sans nulle autre explication possible, la continuation du même pli couché.

Ce Crétacé est renversé.

D'ailleurs, un affleurement analogue se retrouve de l'autre côté du chemin du Beausset à Canadeau, séparé seulement du premier par quelques mètres de

Marnes irisées qu'entame la route; et ce second affleurement se relie d'une manière continue, quoique par une languette étroite, à ceux du bord de l'îlot. A l'identité de succession des couches vient donc s'ajouter la continuité des gisements. Il est ainsi bien prouvé que ces lambeaux crétacés ne se sont pas déposés dans les anfractuosités du Trias, où ils semblent encore enfouis, mais qu'ils font, avec les terrains de la bordure, partie d'une même nappe de couches renversées, et que par conséquent cette nappe se continue ininterrompue au-dessous du Trias. Les deux séries en contact, Crétacé et Trias, sont séparées par une surface à peu près plane et horizontale dans son ensemble, seulement accidentée par des tassements locaux ou même par de véritables plissements postérieurs. Cette surface est une surface de faille, au sens général du mot, et nous savons quelle signification théorique on doit lui donner; le pli synclinal couché suppose nécessairement un pli anticlinal, également couché, qui lui fait suite et qui le recouvre; cette surface est celle qui correspond à l'étirement du flanc médian des deux plis.

Nature de la surface qui sépare le Crétacé et le Trias.

C'est la prolongation de cette surface qui, par son intersection avec le sol, détermine le contour sinueux de toutes les masses de recouvrement, c'est-à-dire des affleurements du Trias et de l'Infralias; c'est elle qui va isoler plus au sud, sur la colline du Castellet, les deux petits îlots de Marnes irisées et d'Infralias; c'est elle qui, à l'ouest, découpe la presqu'île et le petit îlot de Fontanieu. L'étendue de cette surface, telle qu'on peut la reconstituer, montre que le déplacement horizontal des couches, le *charriage, n'a pas été de moins de six kilomètres.*

C'est cette même surface qui isole plus loin les petits îlots triasiques du Castellet.

Le charriage horizontal a été d'au moins 6 kilomètres.

Il reste maintenant à étudier les couches triasiques des différents îlots; leur disposition et leurs relations mutuelles ne sont pas moins instructives que celles des couches crétacées.

Étude des couches triasiques de l'îlot.

Prenons d'abord l'îlot du Beausset; la structure orographique s'en résume assez facilement dans quelques traits d'une grande simplicité : au milieu est le sommet (cote 402), entouré de toutes parts par une série de dépressions plus ou moins profondes, formant autour de lui comme une enceinte circulaire continue. Puis, tout autour de cette enceinte, existe un rebord de collines moins élevées, interrompues seulement en deux points, à l'est et à l'ouest du Vieux-Beausset, et coupées en trois autres points par d'étroites échancrures qui donnent passage aux eaux. Le sommet central est formé de Muschelkalk, à *Terebratula vulgaris,* plongeant légèrement au nord; la dépression qui l'entoure est, sauf deux étroites saillies à l'est, formée de Marnes irisées. Quant au rebord extérieur, il se divise en deux parties : l'une, au nord, la plus élevée, comprend la colline du Vieux-Beausset, composée d'Infralias; l'autre, de beaucoup la plus étendue, formant plus des trois quarts du pourtour de l'îlot, est une crête presque ininterrompue de Muschelkalk, avec de riches gisements fossilifères (la Mame), et quelques affleurements de Marnes irisées et d'Infralias

Description générale.

sur le bord extérieur, au contact du Crétacé. Toutes ces couches sont en général peu inclinées.

Les rapports de superposition sont simples et normaux au nord.

Au nord, les rapports stratigraphiques de ces différentes couches sont simples et faciles à constater. Le Muschelkalk de la colline centrale plonge au nord sous les Marnes irisées avec gypse, et celles-ci supportent l'Infralias à *Avicula contorta* du Vieux-Beausset. La succession est normale. Mais la ceinture de Marnes irisées autour de la colline centrale est plus difficile à expliquer : les affleurements s'en présentent comme le feraient ceux de terrains inférieurs au Muschelkalk, et les contacts ne sont pas visibles. On peut supposer une faille courbe semi-circulaire ou un renversement; mais il est certain que, du côté du sud, le Muschelkalk, dont les bancs régulièrement lités permettent de suivre l'allure, ne plonge pas, même par une inflexion brusque, sous les Marnes irisées. La coupe du rebord méridional est plus nette, et permet de trancher l'alternative dans le sens du renversement.

Au sud, le Trias qui forme le bord de l'îlot est renversé et repose sur l'Infralias.

C'est entre le Petit-Canadeau et Fontvive que les observations sont le plus faciles. Le Muschelkalk horizontal couronne le plateau, et *il repose sur les Marnes irisées*. La superposition est des plus nettes et peut se suivre sur plusieurs mètres de longueur, auprès de la bastide abandonnée qui domine à l'ouest le Petit-Canadeau. Au-dessous viennent la lumachelle de l'Infralias avec *Avicula contorta,* puis les gros bancs dolomitiques de l'Infralias supérieur. Tous ces bancs renversés se continuent horizontalement jusqu'auprès de Fontvive, formant la base du coteau de Muschelkalk. Près de Fontvive, un glissement local a donné à ces couches une assez forte inclinaison vers le sud, c'est-à-dire vers la vallée; mais là même, à quelques pas au nord, un puits creusé dans le Muschelkalk vient compléter la série des preuves : ce puits a rencontré sous le calcaire les Marnes irisées avec gypse. Plus à l'est, en continuant à suivre la bordure, l'Infralias disparaît, mais on trouve encore les Marnes irisées au pied du Muschelkalk, au-dessus de Sainte-Anne et à la Grenadière. Ce Muschelkalk, également horizontal, continue sans interruption celui du Canadeau; on peut donc affirmer que, sur toute la bordure méridionale de l'îlot, le Trias est renversé.

La stratigraphie de l'îlot apparaît alors avec une grande évidence, quand on l'observe d'un des sommets de ce rebord méridional. Le Muschelkalk de la colline centrale continue à sa base celui du rebord et repose ainsi que lui sur les Marnes irisées; comme, en même temps, sa partie supérieure plonge au nord

Le Trias forme un pli anticlinal couché.

sous les gypses du Vieux-Beausset, il faut que l'ensemble forme un V couché (>), ainsi que le montre la figure. Cette disposition explique, en effet, toutes les observations de détail, sauf les glissements locaux, comme celui de Fontvive. Cette disposition était d'ailleurs à prévoir d'après l'allure même des couches crétacées; mais il était important, comme nouvelle vérification, de la constater directement (*fig.* 19 et 20).

Ilots du Castellet (*fig.* 19).

Les îlots du Castellet sont beaucoup plus restreints comme étendue; l'un

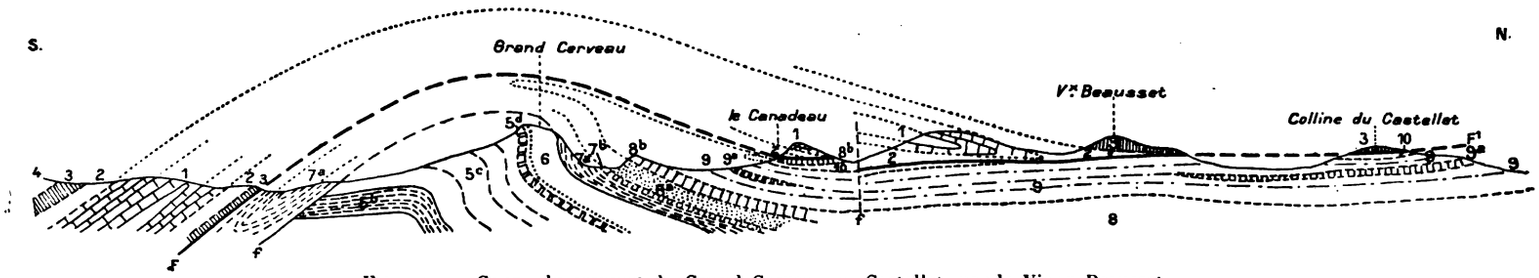


FIG. 19. — Coupe du sommet du Grand Cerveau au Castellet, par le Vieux-Beausset.
(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XV, *pl. XXIII, fig.* 1.)
Échelle (longueurs et hauteurs) = 1 : 50 000.

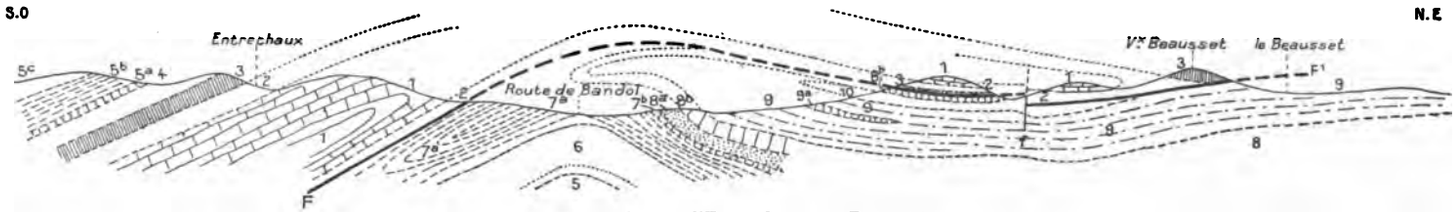


FIG. 20. — Coupe d'Entrechaux au Beausset.
(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XV, *pl. XXIII, fig.* 2.)
Échelle (longueurs et hauteurs) = 1 : 50 000.

LÉGENDE COMMUNE AUX FIGURES 19-22.

1 Muschelkalk;
2 Marnes irisées;
3 Infralias;
4 Lias;
5a Bajocien;
5b Bathonien;
5c Dolomies;
5d Calcaires blancs;
6 Néocomien et Urgonien;
7a Aptien;
7b Cénomanien;
8a Sables turoniens;
8b Calcaire à *Hippurites cornuvaccinum*;
9 Sénonien (9a, Calcaire à Hippurites);
10 Couches à *Ostrea acutirostris* et à Turritelles;
10a Valdonnien (Couches à *Melanopsis*);
10b Fuvelien (Couches à Cyrènes);
FF' Grande faille; /// Failles secondaires.

d'eux, auprès du village, est formé de cargneules surmontées par la lumachelle à *Plicatula intusstriata* et par les gros bancs calcaires de l'Infralias; le second, plus rapproché du Beausset, est moins étendu encore et comprend seulement un petit affleurement de marnes rouges gréseuses, surmontées par de gros bancs de cargneules horizontales; il est en contre-bas d'une légère éminence, formée par les couches à Cyrènes du Danien; il y a donc, là encore, l'indice d'un tassement postérieur, auquel il faut attribuer la conservation du lambeau. Il est à remarquer que là, le Trias comme le Crétacé, pris isolément, montrent une stratification normale, qu'il n'y a plus trace de couches renversées, et que par conséquent l'échafaudage des preuves développées plus haut fait complètement défaut. Il est évident que la conclusion, acquise pour le Trias du Beausset, s'applique par analogie à ces îlots; mais si, comme cela eût été possible, ils eussent été seuls respectés par la dénudation, la superposition anormale serait difficile à prouver et l'on peut croire qu'elle rencontrerait peu de faveur.

Les preuves tirées du renversement des couches y font défaut; mais la même conclusion s'applique par analogie.

Cette disparition des couches renversées n'est pas un effet du hasard; elle tient évidemment à ce que ces îlots sont plus éloignés du centre du pli, et à ce que, pour eux, le charriage a été plus prolongé. La succession des coupes du sud au nord est trop régulièrement frappante pour qu'on puisse hésiter à accepter cette explication : au sud de l'îlot du Beausset, il y a une double série de couches renversées, celles du Trias et celles du Crétacé; un peu plus au nord une seule de ces séries subsiste, puis toutes deux disparaissent. C'est alors d'abord le Muschelkalk qui repose directement sur le Sénonien; puis, à la pointe nord de l'îlot du Beausset, la série ancienne ne commence plus qu'aux Marnes irisées ou même à l'Infralias. La disparition est donc progressive. Nous verrons pourtant, plus tard, qu'il ne faut pas se hâter de tirer de ces faits des conclusions trop absolues : il est possible que le pli couché se soit étendu plus loin encore vers le nord, que sa partie terminale ait été dénudée, et que dans cette partie les couches renversées reparaissent, même avec une plus grande épaisseur. Il faut remarquer en outre que la série des couches crétacées est plus complète au Castellet qu'au Vieux-Beausset; les assises supérieures (daniennes, couches de Fuveau), qui n'existent pas dans la seconde localité, reparaissent dans la première. Il faut donc, en tout cas, en conclure que le *rabotage* de la surface sur laquelle s'effectuait le glissement a été irrégulier, ou, peut-être encore, que cette surface avait déjà été exposée à des dénudations atmosphériques avant le complet *déroulement* du pli.

La disparition des couches renversées est due à un plus grand éloignement du noyau anticlinal, à un charriage plus prolongé.

Mais il serait possible que les termes renversés reparussent près de la charnière anticlinale, si celle-ci n'avait pas été dénudée.

Le Trias de Fontanieu est au contraire plus rapproché du noyau du pli que celui du Beausset, et il est intéressant parce qu'il se raccorde avec lui d'une manière ininterrompue, au lieu d'en être, comme l'autre, séparé par la masse du Gros Cerveau; la partie enlevée par la dénudation, à l'est de la route de Bandol, est précisément celle qui a été respectée à l'ouest de cette route. Il résulte de cette continuité des affleurements, de ce côté, qu'il y a également continuité des

Trias de Fontanieu.

Raccordement de la surface de glissement horizontal avec le pli-faille du Gros Cerveau.

affleurements de la surface de charriage avec la faille qui borde le pli au pied du Gros Cerveau; c'est la même surface de discontinuité dont on peut suivre la trace, correspondant entre Ollioules et la route de Bandol à sa partie très inclinée, et alors à peu près rectiligne; correspondant près de Fontanieu à sa

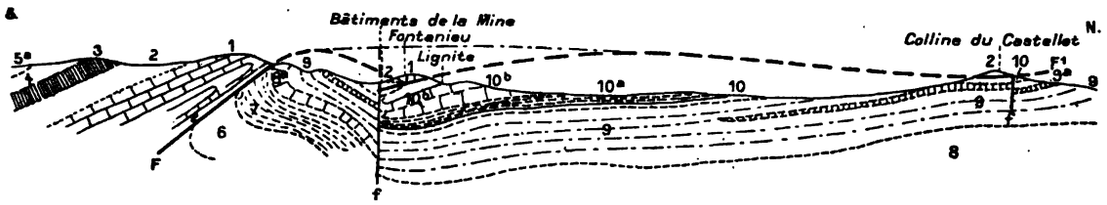


FIG. 21. — Coupe de Fontanieu à la colline du Castellet.
(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XV, *pl. XXIII, fig.* 3.)

Échelle (longueurs et hauteurs) = 1 : 50 000.

partie horizontale, et alors naturellement très sinueuse. La ligne se recourbe d'abord vers le nord, mettant là en contact l'Aptien et les Marnes irisées, renversées sous le Muschelkalk; puis elle se retourne vers l'ouest et dessine une anse profonde, suivie d'un promontoire étroit sur lequel est construit le hameau de Fontanieu; enfin, après avoir contourné la colline du Télégraphe de la

FIG. 22. — Coupe du Télégraphe de la Cadière à la Cadière.
(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XV, *pl. XXIII, fig.* 4.)

Échelle des longueurs = 1 : 50 000.
Échelle des hauteurs = 1 : 25 000.

Cadière, la faille reprend sa direction normale vers l'ouest jusqu'à la Pointe Grenier. Dans l'anse de Fontanieu, une colline isolée est de plus couronnée d'un chapeau de Muschelkalk.

Nouvel îlot de Muschelkalk au sud de Fontanieu.

Tout le long de cette ligne sinueuse, des lambeaux de Marnes irisées s'observent au pied du Muschelkalk, avec un liséré discontinu de couches sénoniennes renversées; il y a de plus à signaler, en divers points, précisément dans ceux où ces lambeaux font défaut et où le calcaire à Hippurites est en contact avec le Crétacé, l'existence d'une brèche formée d'éléments triasiques anguleux, qui sont comme enclavés dans le calcaire crétacé ou au moins dans des couches qui en semblent inséparables. C'est une véritable brèche de faille qui s'est produite là où des couches moins résistantes n'ont pas amorti les

Termes renversés; brèche de friction.

actions de friction; elle se retrouve dans les mêmes conditions jusque auprès de Saint-Cyr.

Promontoire de Fontanieu; travaux de mines et puits de recherches.

Mais la partie la plus intéressante est le promontoire de Fontanieu, parce que là, il y a eu des travaux de mines, et qu'un autre genre de vérification s'ajoute à toutes celles que j'ai énumérées : *les galeries d'exploitation ont suivi la couche de charbon sous le Muschelkalk,* et de plus, au sud de Fontanieu, *un puits creusé dans le Muschelkalk a rencontré les couches à Melanopsis galloprovincialis*. C'est la preuve matérielle et presque brutale du recouvrement.

Lambeaux d'Urgonien intercalés dans le liséré de terrains renversés.

La coupe de la galerie de travers-bancs qui servait d'entrée à la mine a fourni encore d'autres renseignements; cette galerie a traversé (*fig.* 18) le Muschelkalk, une mince couche de Marnes irisées gypsifères, des couches sénoniennes renversées et enfin la couche de lignite repliée sur elle-même. Or, entre le gypse et le Sénonien, on y rencontre quelques mètres d'argiles noires et verdâtres, qui n'affleurent pas au jour, et dont l'âge est difficile à préciser, mais qui en tout cas renfermaient un bloc anguleux de calcaire blanc où se trouvait un fragment de coquille à test épais, rappelant les coupes de Réquiénies. Ce bloc (encore visible aujourd'hui) ne peut guère avoir été amené dans sa position

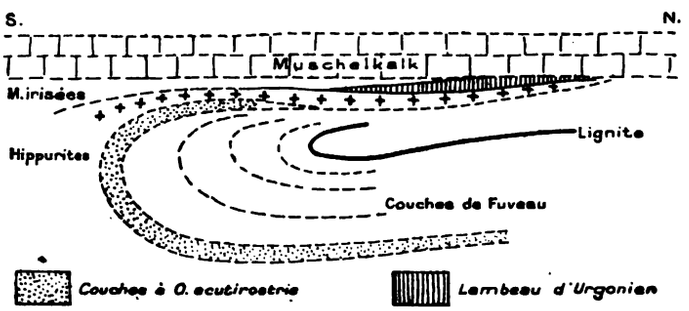


Fig. 23. — Coupe schématique, montrant la position du lambeau urgonien du Colombier.
(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XVI, p. 81.)

actuelle que par des actions de glissement et de friction; il fait en tout cas prévoir que des lambeaux d'Urgonien ont pu être transportés jusque-là, par adhérence, si l'on veut, avec la masse charriée (lambeaux de poussée), ou mieux comme témoins de l'étirement progressif des terrains intermédiaires. En effet, en suivant avec soin la limite du Muschelkalk, on trouve dans les murs de soutènement un grand nombre de morceaux d'Urgonien, avec coupes très nettes de Réquiénies; et enfin, un peu à l'ouest du Colombier, on rencontre un affleurement des mêmes calcaires, bien en place, visibles sur quelques mètres carrés, avec le Muschelkalk au-dessus et les Hippurites au-dessous. C'est bien, comme le montre la coupe schématique (*fig.* 23), la place que l'Urgonien doit occuper

dans la série des couches étirées et renversées. Toute autre position serait incompatible avec la théorie du pli couché, et dans toute autre hypothèse sa position serait inexplicable.

Un autre lambeau d'Urgonien existe en face du premier, sur l'autre rive du ruisseau de la mine. Également incliné vers le fond du vallon, il n'occupe pas de ce côté, entre les Marnes irisées et les calcaires à Hippurites, une position aussi nettement définie; les glissements et tassements locaux qui se sont produits et l'insuffisance des affleurements font là des rapports des couches entre elles une véritable énigme stratigraphique. Il n'est pas douteux pourtant que l'explication, si évidente sur la rive gauche, ne puisse, par une combinaison de failles secondaires, s'appliquer aussi sur la rive droite.

Tassements locaux.

La comparaison de la coupe schématique (*fig.* 23) et de la coupe du travers-bancs de la mine (*fig.* 18), et leur rapprochement avec la coupe d'ensemble (*fig.* 21), font voir nettement et comme toucher du doigt un exemple d'un de ces affaissements ou tassements locaux dont j'ai parlé; ici, même, il pourrait se faire que cet affaissement ne fût qu'un glissement sur le bord de la vallée.

Résumé.

Si l'on résume maintenant les faits observés autour du Beausset, on voit sur quel ensemble de preuves, distinctes et indépendantes, est fondée la conclusion de la superposition du Trias au Crétacé, ou, ce qui revient au même, de l'existence d'un grand pli couché. D'abord les couches crétacées forment un pli synclinal, dont l'axe est horizontal; cela résulte, non seulement de la présence d'une bande étroite renversée, mais de l'observation même de la charnière synclinale en deux points, à la mine de Fontanieu et à l'ouest de Maren. Le pli synclinal suppose nécessairement un pli anticlinal semblablement incliné; mais l'existence de ce pli anticlinal est démontrée directement par la succession, en ordre renversé, des assises triasiques. Enfin la coexistence de ces deux plis entraînerait, par elle seule, la superposition du Trias au Crétacé; mais de plus cette superposition est établie *directement* par des puits et des travaux de mines. Le seul point douteux, dans les coupes qui résument la description, serait l'existence réelle d'une courbure anticlinale dans les bancs de Muschelkalk qui forment la colline centrale de l'îlot; il se pourrait qu'il n'y eût eu là que des glissements successifs des bancs les uns sur les autres, et que la courbure anticlinale, correspondant à l'extrémité du pli, ne se soit produite que plus au nord, en avant des îlots du Castellet.

En tout cas, c'est à 5^{km} *au minimum* qu'il faut évaluer le développement horizontal du pli couché et, par conséquent, le déplacement horizontal des masses mises en mouvement. Ces phénomènes ne s'observent que sur une longueur du pli correspondant à 7^{km} environ, entre Ollioules et le Télégraphe de la Cadière, mais il est évidemment impossible qu'ils se soient bornés à cet espace: le recouvrement devait nécessairement s'étendre plus ou moins loin à l'est et à l'ouest; la loi de continuité s'impose ici, ainsi que dans toutes les actions

orogéniques, comme conséquence de la solidarité des bancs qui composent l'écorce terrestre, et le Trias du Vieux-Beausset devait se prolonger au-dessus de l'emplacement actuel du Crétacé, à l'ouest jusqu'au delà de Saint-Cyr, à l'est jusqu'aux environs du Caoumé. Si les traces en ont disparu, c'est par l'effet des dénudations; leur œuvre, en se continuant pendant de nouvelles périodes géologiques, est destinée à faire disparaître toute trace de ces phénomènes.

La dénudation est plus avancée à l'ouest qu'à l'est; à l'ouest, elle laisse subsister jusqu'à la mer l'amorce du renversement du pli; à l'est, elle permet d'en étudier les parties plus profondes et de faire à ce sujet quelques remarques intéressantes.

Continuation à l'ouest du pli couché jusqu'à la mer.

Si l'on reprend les observations interrompues au pied du Télégraphe de la Cadière et si de là on suit la limite du Trias jusqu'à la mer, on le trouve constamment, jusqu'aux ruines de Taurentum, en contact avec les calcaires à Hippurites. Ces calcaires sont partout directement superposés aux marnes sénoniennes et, si l'on observait cette coupe isolément, on ne pourrait s'empêcher de croire à une récurrence des Hippurites inférieures (sommet de l'Angoumien); en réalité, il n'y a pas récurrence, mais retour des couches plus anciennes par renversement: c'est la continuation du pli crétacé décrit plus haut; seulement, ici, la partie centrale du pli a été dénudée et ne montre plus ni couches à Turritelles, ni couches à *Ostrea acutirostris;* les éléments de repère sont donc plus difficiles à fixer et ne se trouvent plus que dans la détermination des espèces d'Hippurites. Pourtant il convient d'y ajouter un petit affleurement isolé de couches encore plus anciennes, qu'on rencontre au sud de Taurentum : au nord du chemin charretier qui, des dernières maisons de la côte, conduit vers la Nartelle, en suivant pendant une centaine de mètres la limite des vignes et des bois, on arrive bientôt à un petit sentier qui monte dans le bois et le traverse. Vers le haut de ce sentier, au-dessus des calcaires à Hippurites, on rencontre quelques bancs de calcaires à silex, avec Huîtres et Brachiopodes siliceux, présentant tous les caractères du Cénomanien. On entre ensuite dans le Trias. La position de ce lambeau indique le retour du pli et est comparable à celle de l'Urgonien de Fontanieu.

La falaise qui, de là, domine la mer jusqu'à la Pointe Grenier est presque uniquement formée de Muschelkalk; au pied de cette falaise, tout le long du sentier de douane, on voit les marnes sénoniennes à *Cidaris clavigera,* à peu près horizontales, buter en apparence contre le Trias ou même en remplir les anfractuosités; elles ne forment au bord de la mer qu'une bande de quelques mètres de largeur. A première vue, on a l'illusion complète de couches déposées au pied de la falaise et restées dans leur position première; il est vrai qu'il faudrait supposer une falaise surplombante (*fig.* 24), et cela seul rend l'interprétation inadmissible. Mais les développements précédents montrent que la surface de contact est une surface de glissement, comme la faille du Beausset dont

elle est la continuation. Les assises sénoniennes ne semblent pas là renversées; mais auprès du cap, les Marnes irisées plongent sous le Muschelkalk.

Ainsi, dans toute cette partie, les affleurements fournissent un bel exemple de ce que j'ai appelé le premier type de pli couché. Le Crétacé s'enfonce certainement sous le Trias, contre lequel il semble buter, mais on ne peut dire jusqu'à quelle distance; de même, le Trias s'étendait au-dessus des affleurements actuels de Crétacé, mais on ne peut dire sur quelle largeur. Il est bon seulement de remarquer que, si l'on choisit, pour marquer la direction du pli synclinal, le fond de courbure des couches à *Ostrea acutirostris*, ce fond

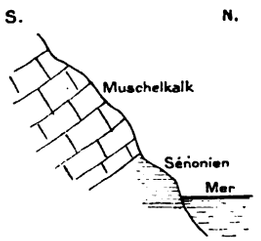


Fig. 24. — Falaise à l'est de la Pointe Grenier.
(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XV, p. 684.)

aujourd'hui dénudé se trouvait au nord de la ligne de faille actuelle, ce qui mène, quand on cherche à restituer cette ligne directrice, à lui assigner depuis le Val d'Aren un parcours à peu près rectiligne de l'est à l'ouest.

Cessation rapide des renversements du côté de l'est.

A l'est, au contraire, toute apparence semblable cesse rapidement; les affleurements triasiques se rapprochent de plus en plus du noyau vertical du pli, et l'on rentre dans ce que j'ai appelé le troisième type. Le Muschelkalk, au pied du Gros Cerveau, est d'abord renversé sur l'Aptien, puis sur les Marnes irisées; mais la faille qui le sépare du Jurassique supérieur tend de plus en plus à devenir verticale et, près d'Ollioules, au-dessus du vieux château, on trouve des lambeaux d'Infralias, de Lias et de Bajocien avec des pendages irréguliers, mais qui ne semblent plus renversés. De l'autre côté de la route de Toulon au Beausset, la faille disparaît presque immédiatement sous les poudingues d'un petit bassin tertiaire discordant, puis sous les alluvions de la plaine de Toulon; mais le Bathonien d'abord, puis toute la série jurassique reparaissent et se complètent sur le bord de ces terrains plus récents, et l'on peut en conclure que la faille prend fin avant Toulon. Le pli lui-même n'est plus guère apparent; le Muschelkalk, presque constamment vertical, montre une série de replis, dont un quelconque peut être considéré comme la continuation du pli du Beausset; ces replis eux-mêmes cessent après le Fort Malbousquet et, en face du Fort Lamalgue, il semble qu'il n'y ait, entre les terrains anciens et le pied du Faron, qu'une série régulière, uniformément inclinée vers le nord, avec un faible déve-

loppement du Permien. Les recouvrements ne semblent pas non plus s'être étendus jusque-là, et l'on peut s'étonner d'une cessation, relativement rapide, de phénomènes aussi importants. On peut se demander alors si l'équivalent ne s'en produirait pas sous une autre forme : l'excès de matière qui a trouvé issue dans les nappes charriées du Beausset se traduirait ici par la naissance et le développement sinueux de plis secondaires ; c'est d'abord, outre ceux du Muschelkalk, celui qui prend naissance au pied du Cap Gros (près de Saint-Martin), se recourbe vers le nord, passe au fort des Pomets, entre le Faron et le Cap Gros, puis va se perdre dans les complications de la vallée de Dardenne ; ce sont ensuite les plis multiples de la dépression qui, depuis Broussan et les Pomets, longe le Caoumé et le Coudon ; ces derniers sont au moins au nombre de trois ; ils reprennent l'orientation est-ouest et passent en partie à des failles. Ils s'arrêtent à la ceinture permienne.

Cette cessation semble correspondre à la naissance et au développement sinueux de plis secondaires.

La véritable ligne directrice de ces inégalités multiples semble devoir être cherchée dans l'étude de la faille qui limite le Cap Gros. Cette faille prend naissance en même temps que cesse celle d'Ollioules ; c'est également une faille d'étirement sur le flanc septentrional du grand pli, puis sur celui du pli secondaire du fort des Pomets. Elle supprime d'abord le Néocomien, puis avec lui une partie des assises jurassiques supérieures. Les couches qu'elle sépare ne sont pas renversées et sont peu inclinées ; en plusieurs points, la surface de fracture peut s'observer ; elle est nette et presque verticale ; le long de cette surface on trouve pincé, sur la route militaire, un lambeau de marnes néocomiennes froissées. La ligne de discontinuité se contourne autour du Cap Gros, suivant parallèlement le pli secondaire ; quand celui-ci s'obscurcit, elle conserve sa netteté, sans interruption, sans croisement d'autre accident, sans confusion possible avec aucune autre. D'après ce parcours, qui ne laisse place à aucune ambiguïté, on peut interpréter celui du pli auquel elle est d'abord nettement associée, et synthétiser ainsi les accidents complexes de la dépression des Pomets.

Ligne directrice de ces accidents complexes ; faille qui entoure le Cap Gros.

Or ce parcours est le suivant (voir la Carte, *fig.* 25) : après avoir contourné le Cap Gros, la faille continue à le limiter au nord, en se dirigeant vers l'ouest, puis elle tourne de nouveau de 180°, se dirige alors vers l'est, en enveloppant l'anse de Broussan, et longe ensuite le Caoumé et le Coudon. Le pli se serait donc aussi deux fois replié sur lui-même, mais la plasticité insuffisante des couches n'a pas permis à cette torsion exagérée de se produire sans fracture, et l'axe anticlinal continu est remplacé par un système complexe de failles.

Cette faille se retourne de 180° vers l'est, pour limiter au sud le Caoumé et le Coudon.

Rien n'est plus curieux que l'aspect résultant, au point de vue des contours géologiques : l'anse de Broussan est comme une pointe de terrains jurassiques et triasiques, ayant pénétré de vive force au milieu des assises crétacées, les interrompant brusquement, mais sans leur faire subir de déviation. Par contre, les

Anse de Broussan, enveloppée par la faille. Demi-circonférences concentriques décrites par les couches triasiques et jurassiques.

couches triasiques et jurassiques suivent les inflexions de la courbe décrite. Jusqu'à Broussan, le Bathonien, assez régulier dans son allure, bute contre l'Urgonien; là, il s'en éloigne, en formant le fond d'un synclinal secondaire qui

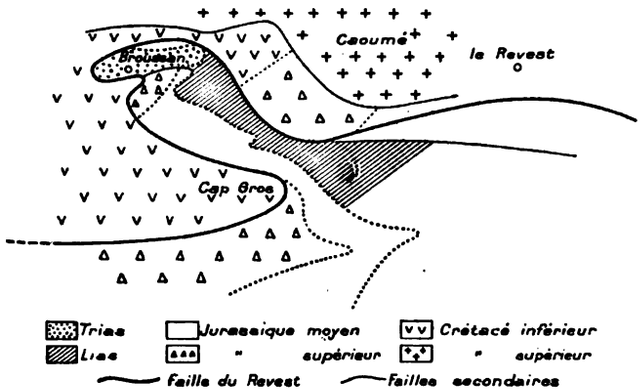


FIG. 25. — Carte géologique des environs du Caoumé.
(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XVI, p. 777.)

Échelle = 1 : 80 000.

décrit une demi-circonférence parallèle à la courbure extrême de la faille. Quelques couches étirées séparent le fond de ce synclinal du Trias, dont les bancs, adossés à leur tour à l'Urgonien, décrivent une série de courbes sem-

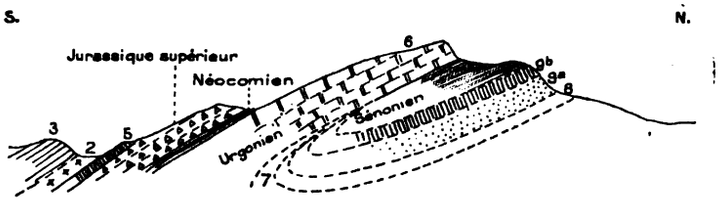


FIG. 26. — Coupe du sommet occidental du Caoumé.

2. Trias; 3. Infralias; 5. Bajocien et Bathonien; 6. Urgonien; 7. Aptien; 8. Cénomanien; 9a. Turonien à *Periaster Verneuilli*; 9b. Angoumien.

Échelle = 1 : 40 000.

blables. Puis, là où la faille reprend définitivement sa direction vers l'est, l'Infralias et le Lias, puis tout le Jurassique, s'intercalent successivement sur ses bords. Le pli anticlinal, amorcé par la réapparition des couches triasiques, devient alors de mieux en mieux marqué jusqu'au Revest et se renverse à son tour vers le nord. C'est ainsi qu'aux Garniers le Turonien plonge sous l'Aptien, avec une bande de Cénomanien calcaire entre les deux. Plus loin, au premier sommet du Caoumé (*fig.* 26), le Turonien a presque disparu par étirement,

Le pli anticlinal, écrasé dans la partie déviée, reparaît quand la direction s'est retournée vers l'est, et

le pli se renverse alors vers le nord, sur les pentes du Caoumé et au Revest.

et le Sénonien plonge sous l'Urgonien, auquel font suite avec le même pendage le Néocomien et les dolomies jurassiques. Un peu plus loin, le renversement n'est qu'amorcé au pied des assises horizontales du second sommet du Caoumé (*fig.* 27), sans aucun doute parce que le flanc renversé a été enlevé par la dénu-

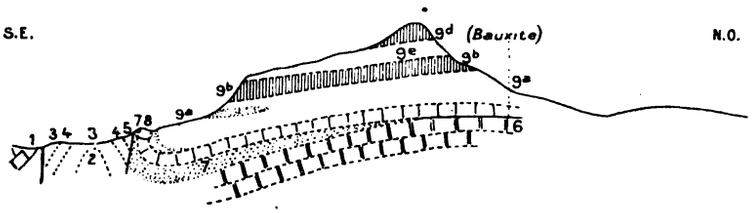


FIG. 27. — Coupe du Mont Caoumé.
(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XV, p. 671.)

1. Muschelkalk; 4. Lias; 7. Aptien; 9b. Angoumien;
2. Marnes irisées; 5. Bajocien et Bathonien; 8. Cénomanien; 9c. Grès sans fossiles;
3. Infralias; 6. Urgonien; 9a. Turonien à *Periaster Verneuilli*; 9d. Calcaires à *Hippurites organisans.*

Échelle = 1 : 40 000.

dation; mais il reparaît au Revest, où les marnes turoniennes s'enfoncent sous l'Aptien, et où les lambeaux de bancs cénomaniens qui en jalonnent la limite reposent en quelques points horizontalement sur les couches à *Periaster Ver-*

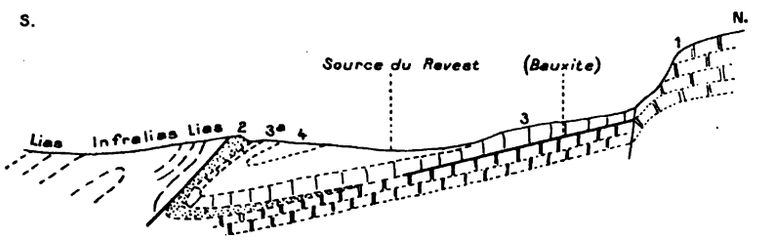


FIG. 28. — Coupe prise à la Source du Revest.
(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XV, p. 670.)

1. Urgonien; 3. Cénomanien; 4. Turonien (Calcaires marneux à *Periaster Verneuilli*).
2. Aptien (Marnes et Calcaires à silex); 3a. Cénomanien étiré;

Échelle = 1 : 10 000.

neuilli. De l'autre côté de la faille, le Lias et même le Bajocien sont renversés sous l'Infralias.

Exemple remarquable d'étirement et de suppressions de couches.

Cette dernière coupe (*fig.* 28) est particulièrement intéressante pour l'étude de la suppression irrégulière des couches étirées. Les couches crétacées, du milieu desquelles sort la belle source du Revest, y dessinent un pli synclinal, dont les deux bords montrent un développement bien différent des étages successifs. Au nord, c'est-à-dire dans le flanc normal, l'Urgonien supporte directement le Cénomanien; l'Aptien n'existe pas et la place en est seulement marquée par une mince couche de bauxite. Le Cénomanien comprend : à la

base, une formation fluvio-lacustre (Gardonien), puis des grès à Ostracées, des calcaires marneux à Alvéolines et enfin de gros bancs à Caprines; au-dessus vient le Turonien. Au sud, c'est-à-dire dans le flanc renversé, l'Aptien est au contraire représenté par des marnes puissantes à nombreuses Bélemnites (*Belemnites semicanaliculatus*) et par des calcaires à silex représentant peut-être le Gault; le Cénomanien, au contraire, a presque complètement disparu : il n'y a plus ni couches lacustres ni grès à Ostracées. Il est bien difficile de ne pas attribuer l'absence de l'Aptien au nord, comme celle du Cénomanien au sud, à des actions mécaniques : la distance entre les deux coupes si dissemblables n'est que de quelques centaines de mètres; c'est bien peu pour expliquer un changement aussi rapide par les conditions de dépôt. Il est vrai que, sur la moitié de la bordure septentrionale du bassin du Beausset, entre le Revest et Cuges, l'Aptien fait également défaut; il faut donc, dans l'exemple actuel, se contenter d'indiquer la probabilité d'un étirement le long du flanc non renversé d'un pli. Les sommets voisins en fournissent d'ailleurs des exemples plus probants.

Au delà du Revest, un nouveau pli anticlinal, très étiré sur son flanc nord, prend encore naissance au pied du Coudon et est limité au sud par une nouvelle faille, mais il n'y a plus de renversement. D'ailleurs là, comme je l'ai dit, on est bien arrivé à l'extrémité du pli du Beausset et des plis secondaires qui s'y rattachent. Du moins, il faut renoncer jusqu'à nouvel ordre à en chercher la continuation dans les ondulations de la bande permienne.

Dans les complications qu'on est ainsi amené à faire dépendre plus ou moins directement de l'arrêt brusque du pli en face de la masse résistante des Maures, il y a lieu de mentionner plus spécialement la structure, un peu déroutante et difficile à expliquer, du Cap Gros, du Faron et du Coudon, ces trois hautes collines isolées dont les blancs escarpements dominent la plaine toulonnaise. Leur caractère commun est que les sommets en sont formés de terrains bien plus récents qu'on ne pourrait l'attendre des affleurements de leurs bases. Ainsi autour du Faron, dont l'étude est la plus facile et la plus nette, on peut suivre le Trias en bancs réguliers et continus, au sud et à l'est surmontant le Permien, au nord surmonté par le Lias et le Jurassique; on fait le tour presque complet de la montagne en restant sur les mêmes terrains, sans rencontrer de faille ni d'accident; à l'ouest seulement, sur 1^{km} environ, le développement des alluvions empêche de dire avec certitude ce qui se passe. Mais si, en partant d'un point quelconque, on gravit le sommet, nulle part, avant d'arriver à l'Urgonien qui forme ce sommet, on ne rencontre la série complète : au sud, le Muschelkalk est en contact avec le Jurassique supérieur; à l'est, les Marnes irisées sont en contact avec le Néocomien et l'Urgonien; au nord, le Lias, puis les dolomies jurassiques, dont les escarpements arrivent même à dominer le plateau urgonien, butent contre les couches de ce plateau. Il y a ainsi une ligne de discontinuité

Structures spéciales du Faron et du Coudon, dont les sommets sont entourés par des failles fermées.

qui enveloppe le sommet, en forme de >, et qui peut-être même se ferme complètement à l'ouest. On peut la suivre sans interruption, sans trace d'accident secondaire, et les affleurements permettent même d'en constater la courbure. L'épaisseur des couches supprimées atteint et dépasse 300^{m} : pour être formé d'Urgonien surmontant la série normale et complète des étages, il faudrait que le sommet du Faron fût plus élevé de 300^{m} environ.

La faille du Faron est, en tout cas, l'affleurement d'une surface de discontinuité qui se continue sous le plateau.

Sans doute, il n'est pas impossible de concevoir une faille verticale qui ait ce contour elliptique et qui découpe comme à l'emporte-pièce ce bassin affaissé au milieu des assises plus anciennes; mais la probabilité en semble faible. Il faudrait alors rapprocher les plateaux du Faron des bassins signalés plus haut, à Cernoux, Rouvière et Chibron; le mécanisme de l'affaissement aurait été différent, en ce sens que le bord en serait marqué par une ligne de fracture continue, et alors il est difficile de ne pas supposer que cette ligne de fracture marque la place du vide qui a produit l'affaissement, de ne pas y voir l'affleurement d'une surface continue se prolongeant sous toute la montagne. En d'autres termes, un puits creusé en un point quelconque du plateau rencontrerait la faille en profondeur ou, pour mieux dire, constaterait une lacune qui se raccorderait à celle

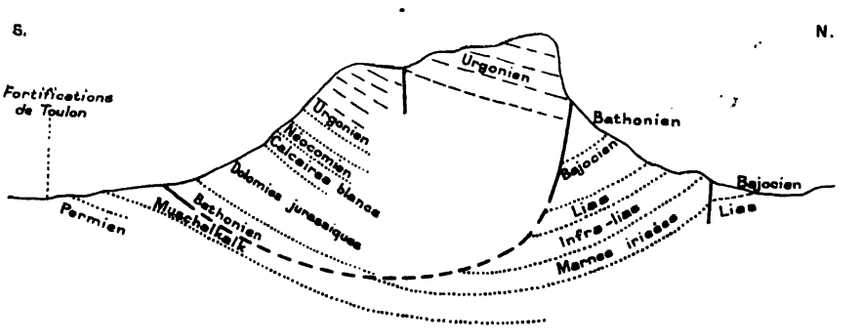


FIG. 29. — Coupe du Mont Faron.
(*B. S. G. F.*, 3^{e} série, t. XII, p. 450.)
Échelle = 1 : 20 000.

des affleurements. La faille ne serait que la trace de la surface sur laquelle sont venues s'appuyer les couches affaissées. La coupe du Faron, même dans cette hypothèse qui ne fait pas intervenir l'influence des plissements, serait celle qu'indique la figure 29 ci-jointe.

La faille du Coudon est la même que celle du Cap Gros, et vraisemblablement la même que celle du Faron.

Toutefois cette hypothèse, qui semble d'abord la plus vraisemblable, cesse d'être applicable au Cap Gros; là en effet, comme je l'ai dit plus haut, on a encore une faille en forme de >, qui entoure le sommet; l'amplitude en est moindre et le développement horizontal plus restreint, mais la forme est la même. Or cette faille, au lieu de tendre à se fermer, se recourbe au contraire en S et se relie d'une manière ininterrompue à celle du Caoumé, qui est une

faille d'étirement bien nette, en relation avec les plissements voisins. L'explication ne peut raisonnablement être différente pour ces deux sommets voisins, qui se font face avec une disposition analogue; il faut donc voir dans les plateaux du Faron, non pas une partie affaissée sur place par l'action de la pesanteur, mais un pli synclinal à flancs étirés. La coupe de la montagne telle que je l'ai donnée plus haut n'en est d'ailleurs pas modifiée; c'est, en tout cas, la seule traduction possible des faits observés.

Réapparition, ou pénétration, au pied du Faron, d'une bande étroite de Marnes irisées dans le Bathonien.

On observe encore, au sud-ouest du Faron, un curieux accident qui serait tout à fait inexplicable sans invoquer les pressions latérales et les torsions irrégulières des plis. Au-dessus du petit Fort Saint-Antoine, en gravissant la route militaire du Fort Rouge, on trouve la succession régulière des assises bathoniennes, auxquelles succèdent plus haut les dolomies du Jurassique supérieur. Au premier grand tournant de la route, cette succession est interrompue par une petite dépression, large de 20^{m} environ, où apparaissent tout à coup les couches froissées des Marnes irisées; dans cette dépression, un peu en contre-bas de la route, on a exploité le gypse, dont on voit encore des morceaux auprès de l'ancien puits de sortie. Autant qu'on peut en juger au milieu des cultures, l'affleurement se continue au sud-ouest jusqu'à ceux du Trias de la plaine; il s'interrompt au contraire presque immédiatement au nord-est. L'apparence et la disposition sont à peu près celles que présenterait *un filon de Marnes irisées dans le Bathonien*. Dans la première hypothèse, il faudrait supposer que l'affaissement a produit dans les calcaires une large fracture et que le poids des marnes affaissées a fait remonter, comme hydrostatiquement, dans cette fracture, les marnes plastiques sur lesquelles elles s'appuyaient. Mais l'existence de filets dolomitiques verticaux (bathoniens ou infraliasiques?) sur le bord de la dépression force à repousser définitivement une explication qui, en tout cas, paraîtrait peu naturelle. Il ne reste donc à invoquer que l'existence d'un pli secondaire très brusque, oblique à la direction générale, une sorte de pincement des couches sur le bord du synclinal, faisant pénétrer le Trias au milieu du Bathonien, comme le Trias de Broussan pénètre, par une bande il est vrai plus large, au milieu du Crétacé qui forme le bord du bassin du Beausset. J'aurai plus loin l'occasion de signaler d'autres exemples de ces plis brusques, qui amènent des bandes étroites de Trias au milieu de terrains plus récents, et dont l'intérêt est considérablement augmenté par la comparaison avec les phénomènes analogues des Pyrénées.

Le sommet du Coudon est également entouré, sur la moitié environ de son contour, par une faille analogue, quoique la courbure ne puisse en être suivie au milieu des éboulis de la grande pente orientale. Cette faille se rattache à celle du Revest, dont la seule interprétation possible, celle de faille étirée, a été déjà suffisamment expliquée; les plis qui se succèdent à la base méridionale du

Coudon viennent d'ailleurs encore appuyer cette conclusion. De plus, la faille qui limite le Coudon est *la même que celle qui limite le Cap Gros.*

Les failles du Cap Gros et du Faron correspondent à une surface de glissement et d'étirement dans le *flanc inférieur* du pli du Beausset, ou de sa continuation.

On est bien tenté de conclure que c'est aussi *cette même faille* qui entoure le Faron, ou du moins que la faille du Faron, comme celle du Cap Gros, comme celle du Coudon, n'est que l'intersection d'une même surface, primitivement continue, avec la surface du sol. L'idée vient naturellement quand on considère à la fois, du chemin de fer ou d'un point de la côte, les deux hauteurs se faisant face des deux côtés de la vallée de Dardenne : leur continuité primitive, interrompue seulement par la dénudation, semble alors évidente, et il semble qu'on ne pourrait la reconstituer sans reconstituer en même temps celle de la faille qui, de part et d'autre, limite l'Urgonien. Il est vrai que les deux sommets sont séparés par le pli anticlinal du Fort des Pomets; mais les plis qui séparent le Cap Gros du Coudon, quoique dirigés dans un autre sens, ne sont pas moins accentués, et là, la continuité est prouvée par les affleurements.

On est donc amené à cette conclusion en apparence singulière : dans toute la région qui correspond à l'extrémité du pli anticlinal et du bassin synclinal du Beausset, c'est-à-dire sur une étendue qui embrasse au moins 12^{km} de long et 4^{km} de large, il existe, ou plutôt il existait avant les dénudations une surface de discontinuité, séparant en quelque sorte deux séries distinctes, dans leur ordre normal de superposition, mais avec des termes supprimés entre les deux. Cette surface, très irrégulière, très ondulée et véritablement plissée, suit en gros et dans son ensemble les surfaces de séparation des couches, et son *pendage moyen* est à peu près insignifiant. Il est probable qu'elle s'enfonce plus loin sous le bassin du Beausset, mais rien n'indique jusqu'à quelle distance.

Irrégularité et ondulations de cette surface. Possibilité de deux phases de plissement successives et superposées.

Les discontinuités ne peuvent être produites que par les glissements des couches le long des surfaces de discontinuité. Il y a une sorte d'impossibilité à supposer qu'un mouvement d'ensemble de cette nature puisse avoir lieu suivant une surface qui, au lieu d'être plane, est irrégulière et ondulée. Et alors on se trouve amené à cette conclusion, que le mouvement d'ensemble a dû précéder les ondulations et les plissements; si, en effet, pour une raison ou pour une autre, il a existé à un certain moment une telle surface, à peu près parallèle aux plans des couches, ou au moins peu inclinée sur ces plans, les actions de compression ont dû agir sur cette surface comme sur les couches elles-mêmes. Le phénomène de glissement, suivant le plan de couches peu inclinées ou suivant une surface qui s'en éloigne peu, suppose déjà l'action d'une compression latérale et par conséquent d'un plissement préalable. La question qui se pose alors, pour ce coin de la Provence, est celle de la possibilité de deux plissements superposés. J'ai déjà eu l'occasion de la poser plus haut à propos de la sinuosité des plis; elle se présentera de nouveau dans la discussion du massif d'Allauch, et dans les trois cas la réponse reste douteuse. Ici, notamment, les déductions précédentes

reposent sur une hypothèse, vraisemblable il est vrai, mais nullement démontrée : le raccordement virtuel de la faille du Faron à celle du Cap Gros.

Si l'on repousse cette hypothèse, la continuité sur de larges étendues d'une surface de faille ondulée se trouve, elle aussi, éliminée; car les torsions suffisent à expliquer l'affleurement sinueux de la faille du Cap Gros et du Caoumé; mais il reste toujours un fait difficilement contestable, c'est l'existence d'importantes surfaces d'étirement *le long des flancs non renversés des plis*, et il faut en conclure qu'il y a eu des déplacements horizontaux considérables dans des systèmes de terrains où l'on n'observe ni plis couchés ni renversements.

Exemples de glissements analogues dans la série triasique non renversée, le long de la bordure permienne, entre Toulon et Carnoules.

Cette conclusion s'impose d'ailleurs avec une évidence plus grande encore, si l'on suit plus au nord le pied des coteaux triasiques et jurassiques qui s'élèvent au-dessus de la plaine permienne. En arrivant à Solliès-Ville, on voit le Muschelkalk et les Marnes irisées progressivement disparaître, et au village même, l'Infralias *repose* directement, par l'intermédiaire de quelques cargneules, sur le Grès bigarré. La faille, si l'on veut l'appeler ainsi, est donc là à peine inclinée, et l'affleurement s'en prolonge, en s'éloignant de la plaine permienne, presque jusqu'au pied de la colline de Saint-Hubert, où elle met en contact deux étages jurassiques voisins. Près de Cuers, les choses sont plus nettes encore : c'est tout le long d'un vallon, où le Permien s'avance profondément entre les coteaux jurassiques, que se produit le même phénomène de suppression du Muschelkalk et des Marnes irisées. Là encore, la *superposition directe* de l'Infralias au Grès bigarré est bien visible en plusieurs points, notamment au fond du vallon. Quoique le vallon corresponde à un léger bombement anticlinal, les couches sont faiblement inclinées, et le contour de la faille en forme de $<$, ainsi que la superposition mentionnée, montrent qu'elle est à peu près horizontale; c'est l'affleurement d'une surface d'étirement, qui, *dans une série régulière et non bouleversée,* supprime une partie des couches. Les mêmes faits se reproduisent entre le Pujet et Carnoules, mais ils sont là moins frappants, parce que les couches, très inclinées, se rapprochent de la verticale.

Apparences de lacunes ainsi produites dans la série sédimentaire.

Ces observations confirment donc l'interprétation que j'ai donnée, comme la seule possible, de la coupe du Faron et la conclusion que j'en ai tirée. Ce nouveau rôle des déplacements horizontaux, dont le résultat est de *créer des apparences de lacunes* dans la série sédimentaire, sera discuté plus loin. Ces mouvements, comme on le voit, peuvent se produire loin de tout pli couché, mais on doit *a priori* prévoir qu'ils ne peuvent se produire que dans les pays de plis couchés, et qu'ils en sont caractéristiques.

Résumé.

L'étude du pli du Beausset montre donc : le charriage horizontal sur plus de 5^{km} de masses importantes, qui viennent recouvrir les terrains les plus récents de la région; les déviations, torsions et ramifications du pli, quand il se rapproche des terrains cristallins; et enfin l'existence d'étirements, c'est-à-dire de

déplacements horizontaux, dans les parties même qui semblent restées en place et qui forment le flanc inférieur du synclinal correspondant, ou synclinal *recouvert* (1).

3° Le pli de la Sainte-Baume.

« La chaîne de la Sainte-Baume, écrivais-je en 1884, reproduit avec évidence, sur une longueur de quinze kilomètres, un de ces phénomènes de *plis couchés*, fréquents dans les régions alpines. Les exemples en sont assez rares en France pour mériter d'être signalés; mais, ce qui me semble de plus prêter à la chaîne un intérêt spécial, c'est la netteté avec laquelle elle montre le passage des plis à des failles bien accentuées, et la diversité des apparences produites à de faibles distances par un même effort orogénique » (2).

Coquand, dans un Mémoire publié en 1864, avait reconnu le renversement du massif de la Sainte-Baume; mais ses études, en dehors de la région des lignites du Plan d'Aups, ont sans doute été un peu hâtives, car la coupe donnée par lui contient d'assez nombreuses erreurs de détails, et masque, plutôt qu'elle ne le montre, le mouvement d'ensemble qui a donné à la chaîne sa structure actuelle.

Orientation d'ensemble.

La crête de la Sainte-Baume suit, sur une longueur de 12^{km}, la direction E. 20° N., à l'altitude moyenne de 1000^{m} au-dessus de la mer; elle s'arrête brusquement à l'est au pic Saint-Cassian; à l'ouest, à partir de Baou de Bretagne, elle se recourbe vers le sud-ouest, et vient lentement s'abaisser vers le hameau de Saint-Pons. Entre ces deux pics extrêmes, elle forme au nord un escarpement vertical de 300^{m} de hauteur, et domine le plateau elliptique du Plan d'Aups, qui mesure 2^{km} à peine dans sa plus grande largeur. Le terrain s'abaisse ensuite lentement au nord jusqu'à un chaînon parallèle (chaîne de la Lare), haut de 600^{m} à 800^{m}, qui vient expirer près de Nans, et sépare le Plan d'Aups de la vallée de l'Huveaune. Au sud, l'escarpement brusque est remplacé par une croupe dénudée, dont la pente moyenne est d'environ un cinquième; cette croupe aboutit à une sorte de plateau accidenté où est situé le village de Riboux; puis, après un léger ressaut qui limite au sud ce plateau, le sol descend par des ondulations successives vers le bord septentrional du bassin du Beausset. La petite plaine en entonnoir de Cuges, produite sans doute, comme je l'ai déjà dit,

---

(1) La description précédente peut être suivie sur ma *Carte géologique des environs du Beausset* (*B. S. G. F.*, 3e série, t. XV, 1886-87, *Pl. XXIV*); ou sur les feuilles 247 (*Marseille*) et 248 (*Toulon*) de la *Carte géologique détaillée de la France*).

(2) *B. S. G. F.*, 3e série, t. XIII, 1884-85, p. 116; Cartes et coupes, *Pl. VI* et *VII*. Voir aussi l'*Esquisse des environs de la Sainte-Baume* figurant au tome XVI, 1887-88, *Pl. XXVII*, et les feuilles 235 (*Aix*) et 247 (*Marseille*) de la *Carte géologique détaillée de la France*.

par un affaissement local, forme comme un trou sans écoulement au bord de ce versant sud de la chaîne.

Coupe générale de la chaîne.

C'est cette chaîne qui forme un pli anticlinal très net, renversé sur le petit bassin crétacé du Plan d'Aups; la partie centrale en a son affleurement dans le plateau de Riboux, formé d'Infralias avec quelques lambeaux triasiques. La coupe, prise par exemple entre Cuges, Riboux et la crête, ne peut donner lieu à aucune ambiguïté (*fig.* 30). De Cuges à Riboux, on trouve la série jurassique, complète et bien développée, depuis le Bathonien jusqu'à l'Infralias, avec un pendage régulier vers le sud. Au-dessus de Riboux, on traverse plusieurs fois les gros bancs de l'Infralias et ceux de la lumachelle infraliasique; puis, sans que le pendage ait changé, on retrouve la série jurassique, mais renversée et très amincie : selon les points, le Lias, le Bajocien ou le Bathonien font défaut,

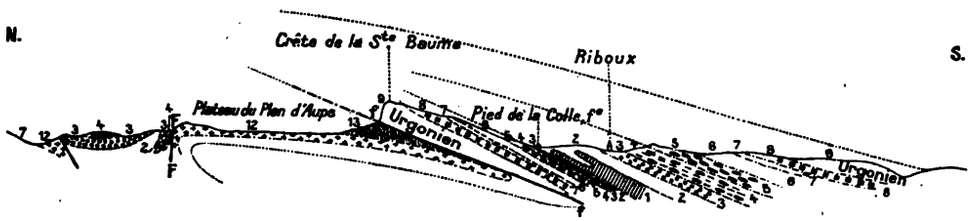


FIG. 30. — Coupe médiane de la chaîne de la Sainte-Baume.

(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XIII, *pl. VII, fig.* 1.)

1. Trias;
2. Infralias;
3. Lias;
4. Bajocien et Bathonien marneux;
5. Bathonien calcaire;
6. Dolomies jurassiques;
7. Calcaires blancs (Jurassique supérieur);
8. Néocomien;
9. Urgonien;
10. Aptien;
11. Couches à *Micraster brevis* (?);
12. Calcaires à Hippurites;
13. Santonien (Grès et Marnes à lignites);

FF Faille du Plan d'Aups;
ff Faille du pied de la Crête.

Échelle = 1 : 80 000 (longueurs et hauteurs).

ou ne sont représentés que par quelques bancs intermittents. Si l'on gravit la crête, on voit les dolomies jurassiques, bien développées, plonger sous cette bande étirée, puis le Néocomien forme une dépression irrégulière, et repose lui-même sur l'Urgonien, qui constitue la crête et l'escarpement.

Zone de glissements et d'étirements correspondant au flanc renversé du pli.

Ainsi la montagne présente deux séries de couches, l'une au sud se succédant dans leur ordre normal de superposition, l'autre au nord présentant le même pendage, mais nettement renversée. Entre ces deux séries, il y a non pas une faille, comme le pensait Coquand, mais une bande de couches amincies, une *zone de glissements* effectués dans des plans voisins de ceux des couches. Cette bande étirée, qui peut être prise comme *ligne directrice* du pli, peut se suivre tout le long de la crête, entre Saint-Pons et la Taille, et se prolonge plus loin encore à l'est, du côté de Mazaugues. Cette bande offre d'ailleurs un très grand intérêt, parce qu'elle permet d'étudier dans toute sa variété, et pour ainsi dire à l'état naissant, le phénomène de suppression intermittente des couches; c'est

une préparation nécessaire à l'étude des masses charriées ou masses de recouvrement, où le même phénomène, parfois exagéré, peut sembler d'abord méconnaissable.

A Riboux, l'Infralias est séparé des dolomies de la croupe par une quinzaine de mètres de calcaires à silex (Lias moyen et supérieur), par des calcaires marneux et par quelques mètres de calcaires compacts (Bathonien). En suivant vers l'est le chemin du Pied de la Colle, on reste presque constamment sur les calcaires à silex, mais les calcaires marneux disparaissent, et les dolomies jurassiques arrivent même en contact avec le Lias. Plus loin, au contraire, c'est le Lias qui manque, et l'Infralias surmonte le Bathonien. En suivant la limite des deux étages, on voit d'abord reparaître quelques morceaux de calcaire liasique, puis des bancs bien lités et incontestablement interstratifiés. Le Lias est d'ailleurs presque partout fossilifère, et c'est un fait à noter que les fossiles n'y ont pas subi de déformations spéciales; il faut en conclure que les glissements ont eu lieu bancs par bancs, sans doute facilités par les minces lits de marnes qui les séparent. Dans les couches marneuses, au contraire, les fossiles sont ordinairement aplatis et déformés.

Au sud des affleurements du Lias, on rencontre presque partout la lumachelle de l'Infralias à faible distance, c'est-à-dire que les calcaires dolomitiques qui les séparent normalement sont aussi très réduits ou supprimés. L'épaisseur primitive des couches, qui ont été ainsi amenées à ne plus former qu'un mince liséré au pied de la montagne, s'élevait donc à plus de 300^{m}. Leur renversement résulte partout, sans ambiguïté, de l'ordre de succession et du pendage, mais il peut se vérifier d'une manière plus frappante sur le flanc nord d'un petit coteau qui précède la Bastide Panier (aujourd'hui ruinée); en bas est le Bathonien, à mi-côte le Lias, et en haut l'Infralias.

A la Bastide Panier, la bande subit une déviation vers le sud; il y a torsion du pli et décrochement latéral; il faut descendre de 500^{m} au sud pour trouver la continuation des mêmes phénomènes.

Au delà de ce rejet, on rencontre le défilé de la Taille, où la série renversée comprend les différents termes du Bathonien, presque développés avec leur épaisseur normale; par contre, tous les autres étages font défaut, et cette série bute directement contre les Marnes irisées presque horizontales (avec bancs de lignites) et surmontées de l'Infralias. Une des surfaces de glissement a pris là une importance prépondérante par rapport aux autres, et donne naissance à ce qui paraît être une véritable faille. Mais bientôt, à l'est, cette surface unique fait place de nouveau à une réapparition de la zone d'étirement, et, en la suivant jusqu'au delà de la Salamone, on peut y trouver des fossiles de tous les étages. Sur ce parcours, on voit même apparaître plusieurs fois le Muschelkalk, au centre du pli, et, à l'ouest de la Salamone, on constate une nouvelle torsion très accusée de la bande triasique, correspondant à un second décrochement du pli. La

direction des bancs, très froissés, s'infléchit vers le nord, avant de revenir vers l'est.

La bande étirée n'a pas été observée plus loin, sur la feuille de Draguignan; elle s'amincit progressivement et disparaît de ce côté; nous verrons tout à l'heure qu'elle est remplacée par une grande surface de glissement, presque horizontale, le long de laquelle, sans intermédiaire de terrains renversés, l'Infralias s'est superposé au Crétacé supérieur.

A l'ouest de Riboux, le Trias apparaît un instant au Puits d'Arnaud jusqu'au Muschelkalk; plus loin la bande étirée se résout, comme à la Taille, en une faille unique, qui met en contact sans intermédiaires le Bathonien ou les dolomies jurassiques renversées avec l'Infralias ou le Trias de la série normale. Mais les étages intermédiaires reparaissent en approchant de Saint-Pons, et là, quoique toujours renversés, ils se rapprochent de plus en plus de la verticale.

Étirements sur le flanc normal, se traduisant par des failles (plis-failles).

Les étirements mentionnés jusqu'ici se rapportent seulement au flanc renversé du pli; mais il y a aussi des glissements sur le flanc normal : ils se traduisent par deux failles, l'une qui borde d'abord au sud le plateau de Riboux entre Riboux et la Taille, puis descend brusquement au sud vers le village de Signes; la seconde qui, partant de Cuges et remontant d'abord directement vers le nord, se dirige ensuite vers Saint-Pons parallèlement à la crête. Cette seconde faille met en contact le Jurassique supérieur avec l'Infralias, et, dans la partie où elle est parallèle à la faille d'étirement du flanc renversé, elle isole avec elle une bande triasique et infraliasique au milieu du Jurassique supérieur; c'est là une apparence qui se reproduit assez fréquemment en Provence, et qu'il est intéressant de constater en un point où l'interprétation n'est pas douteuse.

Il est bon de remarquer aussi la sinuosité de ces failles qui, comparée à l'allure rectiligne de la chaîne et des autres accidents, semble prouver que leur pendage, au moins leur pendage moyen, est assez faible, à peu près comme celui des couches.

Pli synclinal du Plan d'Aups; les calcaires à Hippurites pénètrent au moins de 2^km^ sous la montagne urgonienne et jurassique.

L'étude du pli anticlinal de la Sainte-Baume doit maintenant se compléter par celle du pli synclinal sur lequel il est renversé. En bornant d'abord ses observations au pied même de la crête, c'est-à-dire au bord méridional du plateau du Plan d'Aups, on arrive à cette conclusion, que les couches à Hippurites, au moins à l'est, *pénètrent de près de deux kilomètres sous la montagne.*

Pli en < des calcaires à Hippurites à Giniez.

A l'ouest, les couches à Hippurites du plateau sont surmontées par les premières couches saumâtres, base du Danien, dans lesquelles ont été faites des tentatives d'exploitation d'un niveau inférieur de lignites. Ces couches saumâtres, peu inclinées, butent contre la grande falaise calcaire, dans laquelle on voit, au ravin de Giniez, les couches à Hippurites se recourber en <; c'est la charnière synclinale (*fig.* 31). Une petite faille de tassement fait que les couches saumâtres, primitivement englobées dans ce < des calcaires, sont maintenant

à leur pied; mais la faille de tassement diminue d'amplitude et disparaît peu à peu à l'est, tandis qu'à l'ouest elle cesse d'avoir un effet visible par suite de la verticalité des bancs. Cette faille est un fait local, mais la verticalité des couches au Baou de Bretagne et la coupe de Giniez montrent que, de ce côté, la pénétration du Crétacé supérieur sous l'Urgonien n'est pas profonde.

C'est à l'est de la chaîne que la dénudation permet d'avoir une mesure de la pénétration du Crétacé supérieur.

A partir de la grotte et jusqu'au Pic Saint-Cassien, la série sénonienne, non renversée, forme le pied de l'escarpement urgonien; toute la série intermédiaire, dont les couches renversées doivent compléter le pli, a dû être supprimée, mais là, c'est par une faille d'étirement parallèle aux couches, et le Sénonien s'enfonce sous l'Urgonien. Comme au Beausset, l'action des dénudations en donne

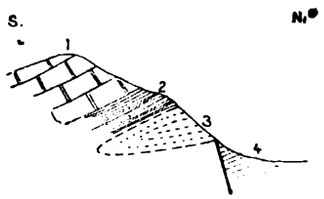


Fig. 31. — Coupe des calcaires à Hippurites à Giniez.

1. Urgonien; 2. Aptien; 3. Calcaires à Hippurites; 4. Couches saumâtres.

Interruption brusque de la falaise urgonienne; îlots de dolomies superposés au Sénonien.

la preuve manifeste; en effet, la crête calcaire s'arrête brusquement au Pic Saint-Cassien, et là, le manteau qui recouvrait les assises sénoniennes ayant disparu, on voit celles-ci se continuer régulièrement vers le sud et s'avancer jusqu'au château de la Taille, en entourant le pic sur les trois quarts de son pourtour. Dans cette sorte de golfe, ainsi formé par les couches sénoniennes au sud des Glacières, les sommets sont encore couronnés par des dolomies jurassiques, formant corniche et continuant par lambeaux la bande dolomitique mentionnée le long de la croupe. Cette croupe se continuait donc sans interruption au-dessus des affleurements actuels du Sénonien, et par la même raison on peut conclure que ce Sénonien se poursuit sous la partie où les dolomies n'ont pas encore été dénudées. Que dans une nouvelle période géologique la dénudation se poursuive, la crête de la Sainte-Baume reculera vers le sud-est, et son flanc méridional fera place également à une suite de collines sénoniennes, avec témoins jurassiques épars sur leurs sommets.

Sources de la Taille, sortant des dolomies jurassiques; ces dolomies horizontales sont superposées aux marnes sénoniennes.

Ce n'est d'ailleurs pas tout. Vers le haut du ravin de la Taille, au sud des affleurements précédents, existent trois sources considérables, qui ont été captées pour la ferme de Chibron. Ces trois sources prennent naissance au milieu des dolomies jurassiques, et l'origine en semble d'abord inexplicable; mais, en remontant un peu plus haut le ravin, on le voit s'élargir en une sorte de petite plaine, où apparaissent tout d'un coup les marnes et les calcaires sénoniens. Sur

les bords du ravin, on peut constater que ces couches n'apparaissent pas ainsi au milieu des dolomies par suite d'un affaissement local, mais que les dolomies leur sont nettement superposées en grandes dalles horizontales (*fig.* 32). Le pli synclinal crétacé pénètre donc jusque-là, et probablement plus loin encore; et les dolomies jurassiques sont aquifères, parce qu'elles ont été exceptionnellement et mécaniquement superposées à un niveau marneux, qui retient les eaux et leur permet de remonter dans leurs fissures.

En même temps que cette pénétration, on constate, dans les affleurements de l'anse crétacée des Glacières, un fait intéressant : c'est que les suppressions des

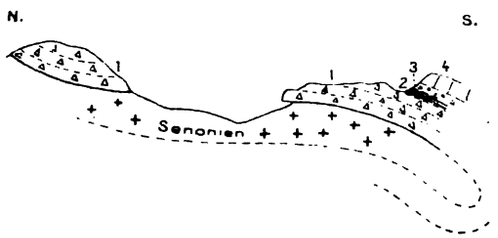


FIG. 32. — Coupe de la vallée de la Taille en amont des sources.

1. Dolomies jurassiques; 2. Bathonien; 3. Lias; 4. Infralias.

couches renversées deviennent plus importantes en se rapprochant de la charnière synclinale. Ce sont, en effet, toutes les couches crétacées inférieures au Sénonien qui font défaut : il n'y a plus trace ni du Néocomien de la croupe, ni de l'Urgonien de la falaise, ni de l'Aptien qui se développe à l'ouest du Couvent, dans la partie où les couches tendent à redevenir verticales. Il est vrai que ces étages cessent rapidement au nord et à l'est, même dans les affleurements normaux, par suite d'une lacune dans la sédimentation. Mais cependant l'Urgonien et l'Aptien existent encore à Camps, à 20^{km} au nord-est, et par conséquent leur disparition, en tout cas trop rapide pour être due seulement aux conditions de dépôt, est en grande partie au moins le résultat de l'étirement. D'ailleurs, on devrait trouver aussi le Sénonien replié sur lui-même et renversé, et nulle part on ne l'a observé. En somme, c'est *tout le Crétacé* du flanc renversé qui a été laminé et supprimé en approchant de la charnière synclinale.

La surface de pénétration ou de glissement est presque horizontale.

Il faut remarquer, en outre, combien peu inclinée est la surface du Sénonien qui pénètre ainsi sous le Jurassique : du Pic Saint-Cassien au ravin de la Taille, c'est-à-dire pour une distance de 3^{km}, la dénivellation n'est que de 150^{m}.

Les études de M. Zürcher permettent maintenant de poursuivre très loin vers l'est les mêmes phénomènes. Si de la Salamone on descend à Mazaugues, on traverse une série de collines composées d'Infralias et de Lias en stratifica-

tion régulière; les érosions ont, en deux points, mis à jour, sous cet Infralias, les couches crétacées en forme d'îlots complètement isolés. Dans le premier ce sont, au fond du ravin, des sables bigarrés, qu'on retrouve à Mazaugues associés aux calcaires à Hippurites; un banc de calcaires métamorphisés, presque marmoréens, sépare ces sables de l'Infralias. Un peu plus loin, ce sont les calcaires à Hippurites qui se montrent brusquement au milieu de l'Infralias.

En approchant de Mazaugues, les collines jurassiques s'abaissent et font place à une vaste plaine occupée par le Crétacé, dont les affleurements se trouvent ainsi s'étendre 3^{km} plus loin vers le sud. Aucune inflexion, aucun changement de direction dans les couches n'explique cette brusque pénétration; la ligne des collines jurassiques, contre lesquelles s'arrête ce Crétacé, se poursuit vers l'ouest jusqu'à la Sainte-Baume, sans déviation et avec la même composition; ce Crétacé, largement étalé, n'est évidemment que la continuation de celui qui pénètre sous les collines infraliasiques; à Mazaugues, la nappe de recouvrement a été dénudée, et l'on constate ainsi que les îlots précédemment mentionnés ne donnaient qu'une limite inférieure de la pénétration du Crétacé sous cette nappe de recouvrement.

Le Crétacé s'avance même encore plus loin vers le sud; l'Infralias de Mazaugues et la série jurassique régulière qui le surmonte sont encore superposés au Crétacé, comme le montre la pénétration sinueuse des sables au milieu des calcaires, ainsi que les îlots de Danien enclavés dans le Trias. Sur la route de Roquebrussane, la pénétration n'est pas de moins de 2^{km}; je reviendrai tout à l'heure plus en détail sur ces faits, en donnant une analyse du travail de M. Zürcher.

En se bornant pour le moment à l'étude de la seule chaîne de la Sainte-Baume, on voit qu'elle donne déjà la preuve d'un chevauchement considérable du pli anticlinal sur le pli synclinal qui lui fait suite. La charnière synclinale de ce pli, ou, avec plus de précision, la courbure synclinale des calcaires à Hippurites, est encore à Giniez en avant de la crête; mais, vers l'est, elle s'enfonce de plus en plus sous la montagne et cesse d'être visible, même quand, aux Glacières, les masses qui la recouvraient et la masquaient ont été dénudées sur 3^{km} de largeur; à Mazaugues, l'enfoncement est plus considérable encore. Nous allons voir de même que la charnière anticlinale, dont on pouvait se croire très rapproché près de Riboux, par suite de l'étroit affleurement des terrains les plus anciens au centre du pli, se trouve pour ainsi dire indéfiniment reculée vers le nord. De même qu'on a peine à reconnaître de combien les terrains crétacés s'enfoncent sous les masses plus anciennes, de même il est difficile de préciser jusqu'où se sont avancés les terrains jurassiques charriés au-dessus du bassin crétacé. Jusqu'à 7^{km} en avant de la Sainte-Baume, on trouve des masses jurassiques formant des îlots ou des promontoires, comme au Beausset, au milieu du Sénonien et du Danien; comme au Beausset, on peut prouver que ces îlots

Témoins d'une ancienne nappe de recouvrement en avant de la Sainte-Baume.

et ces promontoires sont réellement superposés au Crétacé, et qu'ils sont les témoins d'une large nappe de recouvrement, d'un immense déroulement du pli de la Sainte-Baume.

Difficulté provenant des tassements et plis secondaires qui ont morcelé le bassin synclinal.

Mais, ici, on se trouve en face d'une difficulté qui n'existait pas au Beausset, qui rend les observations plus compliquées et l'exposé même de ces observations plus délicat. Au lieu du bassin synclinal régulier du Beausset, le bassin crétacé qui s'étend au pied de la Sainte-Baume est accidenté par une série de failles et de plis secondaires. Au lieu des larges affleurements horizontaux, qui guidaient l'observation et les raisonnements, on ne trouve plus que des bandes crétacées étroites, indépendantes en apparence, dont il faut retrouver et rétablir la continuité pour comprendre le rôle du pli couché. Il faut reconstituer le bassin, en précisant la part des actions et des mouvements secondaires, avant de chercher à déterminer la part des grands phénomènes de recouvrement.

Reconstitution du bassin synclinal.

Le caractère général de la région accidentée qui s'étend entre la crête de la Sainte-Baume et la vallée de l'Huveaune est d'être formé de chaînes ou de bandes, à peu près parallèles entre elles, orientées du sud-ouest au nord-est comme la crête de la Sainte-Baume, mais s'arrêtant toutes avant d'atteindre la grande dépression nord-sud que suit l'Huveaune entre Auriol et Aubagne. Une ligne de collines non moins importantes, dirigée perpendiculairement aux précédentes et prolongeant vers le nord le massif de Tête de Roussargue, longe cette dépression d'une manière continue et limite vers l'ouest la région dont je vais d'abord m'occuper.

Plateau du Plan d'Aups.

En avant de la crête de la Sainte-Baume s'étend le petit plateau du Plan d'Aups, véritable plaine unie de 2^{km} à 3^{km} de largeur, à une altitude d'environ 700^{m}. Le sol en est formé par les calcaires à Hippurites, qui se prolongent à l'est sans interruption jusqu'à Camps. C'est à cette bande, de largeur variable mais toujours assez étroite, qu'un premier examen limiterait le bassin crétacé que nous cherchons à reconstituer.

Série de dépressions crétacées étroites, orientées de l'est à l'ouest, et séparées par des massifs jurassiques.

Le plateau du Plan d'Aups domine au nord, au pied d'un nouvel escarpement de moindre importance, une région de collines profondément découpées, dont les sommets ne dépassent guère 600^{m}, et qui forment une bande de 2^{km} environ de largeur, d'abord parallèle à la chaîne, puis se poursuivant jusqu'à Nans avec une légère déviation vers le nord. Par suite de cette déviation, entre ces collines et le plateau du Plan d'Aups, s'intercale vers l'est une masse puissante de dolomies jurassiques, à peu près horizontales, formant le massif de Rougiers, et servant partout de substratum régulier aux calcaires à Hippurites. La rangée de collines mentionnée est formée par des terrains jurassiques plus anciens, et séparée des dolomies ou du plateau par une dépression souvent très étroite, dont le remplissage crétacé a longtemps passé inaperçu.

Au nord de ces collines se dresse une masse rocheuse plus homogène, la montagne de la Lare (ou du Deffend), atteignant 837^{m} de hauteur, et de nou-

veau formée, au moins pour la plus grande partie, par les dolomies jurassiques. Au sud de la montagne de la Lare règne encore une dépression, remplie de terrains crétacés ou tertiaires.

Enfin, au nord de la Lare, une troisième dépression, parallèle aux précédentes, mais ne se continuant guère à l'est au delà de Saint-Zacharie, fait encore apparaître le Crétacé, dans une bande dont la continuité est un peu masquée par les collines jurassiques qui la parsèment sous forme d'îlots; et une dernière rangée de coteaux peu élevés (de 300^{m} à 350^{m}), de nouveau formés par le Jurassique ou même par le Trias, sépare cette troisième dépression de la vallée de l'Huveaune (200^{m}), où affleurent les terrains triasiques.

Il faut ajouter que la seconde et la troisième dépression, ainsi que les terrains crétacés qui les remplissent, se relient vers l'ouest d'une manière continue, en contournant le massif de la Lare, qui s'abaisse du même côté et disparaît.

Ancienne interprétation de la coupe.

En dehors du massif de la Lare, qui est constitué par une masse à peu près homogène de Jurassique supérieur en forme de voûte surbaissée, cette région, dont la grande route de Saint-Zacharie au Couvent donne une coupe facilement observable, est, comme on le voit, remarquable par la succession capricieuse

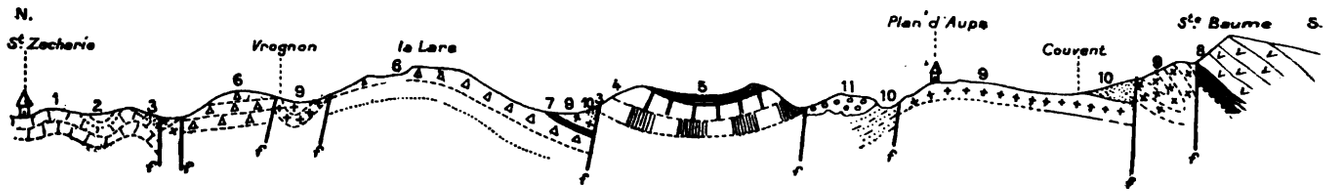


FIG. 33. — Coupe de Saint-Zacharie à la Sainte-Baume dans l'hypothèse de failles verticales, en partie d'après Coquand.

(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XVI, 1887-88, p. 750.)

1. Muschelkalk;
2. Marnes irisées;
3. Infratias;
4. Lias et Bajocien;
5. Bathonien;
6. Jurassique supérieur;
7. Néocomien;
8. Urgonien et Aptien;
9. Calcaires à Hippurites;
10. Série de Fuveau;
11. Poudingues.

Échelle des longueurs = 1 : 60 000 environ.

et le véritable enchevêtrement des terrains les plus variés, du Crétacé supérieur ou même du Tertiaire jusqu'au Trias. Pour en donner une première idée, je reproduis ici, avec quelques modifications, l'ancienne coupe de Coquand, qui explique par des failles verticales multiples les alternances répétées des affleurements jurassiques et crétacés (*fig.* 33). Cette coupe en elle-même n'aurait rien que de très admissible; mais, dès qu'on cherche à suivre les contours de ces failles, on est frappé de leur irrégularité. Ce ne sont pas des lignes droites, formant un réseau plus ou moins complexe, ce sont des lignes sinueuses, suivant dans leurs détails les irrégularités du sol, s'arrondissant en grandes boucles allongées, ou même en ellipses complètement fermées; les affleurements de ces

Sinuosité des lignes de discontinuité.

Fig. 34 et 35. — Coupe de Saint-Zacharie à la Sainte-Baume.

(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XVI, 1887 88, *pl. XXVI.*)

Échelle = 1 : 80 000.

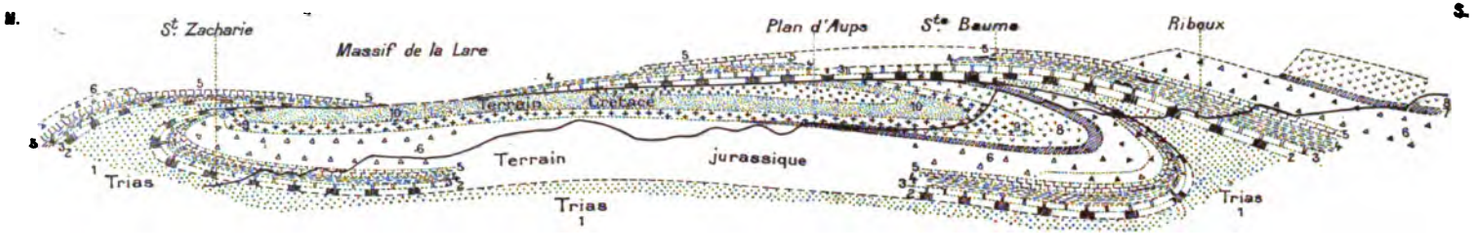


Fig. 34. — Coupe théorique (avant les affaissements).

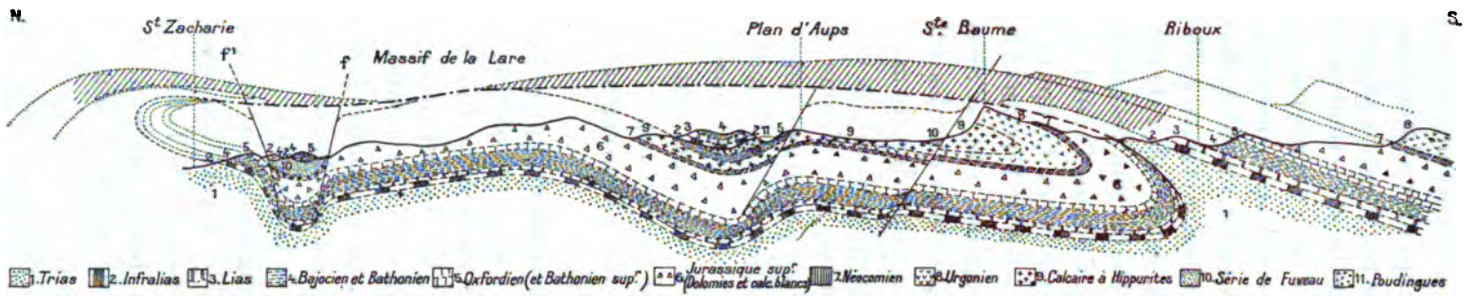


Fig. 35. — Coupe vraie (après les affaissements).

failles se comportent comme le feraient ceux d'une limite naturelle de terrains. On est ainsi averti immédiatement qu'on n'est pas en présence de failles ordinaires, se prolongeant en profondeur. Les coupes (*fig.* 34 et 35) montrent l'allure véritable et mettent en évidence les principaux résultats que je vais établir : 1° que les trois dépressions crétacées forment, avec le plateau du Plan d'Aups, les témoins d'un même bassin crétacé, dénivelé par la faille de tassement qui borde au sud le massif de Rougiers et par le plissement secondaire de la Lare; 2° que ce bassin crétacé a été presque entièrement *recouvert* par des masses jurassiques, dont la série de collines de Nans et dont les îlots de la dépression de Saint-Zacharie sont les restes discontinus, respectés par la dénudation.

Les trois dépressions successives forment, avec le plateau du Plan d'Aups, les témoins d'un même bassin crétacé, primitivement continu.

Occupons-nous d'abord de la première dépression crétacée, celle qui longe le plateau du Plan d'Aups et le massif de Rougiers. Très élargie près de Nans, où les couches de Fuveau (à la Bastide Blanche) ont donné lieu à des recherches de combustible, elle se resserre jusqu'au Plan d'Aups, de manière à ne plus sembler présenter que des affleurements épars de Crétacé; mais la continuité de ces affleurements devient manifeste dès qu'on s'est convaincu que les poudingues, qui masquent souvent les couches de Fuveau, n'appartiennent pas à une fonction beaucoup plus récente et discordante, mais leur sont régulièrement superposés et font partie avec elles d'un même système.

La première dépression, la plus étroite, montre des couches en partie renversées.

La position de cette bande crétacée, enfouie au milieu de collines jurassiques dont les couches sont horizontales et appartiennent de part et d'autre à des étages différents, ne peut s'expliquer ni par un affaissement local entre deux failles, ni par un dépôt dans des dépressions préexistantes; en effet, l'étude détaillée des affleurements montre que ces couches crétacées *sont en partie renversées*.

La constatation peut se faire en plusieurs points au pied de la falaise dolomitique, qui atteint là plus de 100^{m} de hauteur; mais elle est surtout bien nette en face du ravin de la Taulère et en face de celui qui lui fait suite à l'ouest. Dans le second de ces affleurements, on voit les poudingues tertiaires au fond du vallon; puis, si l'on monte au sud vers la falaise contre laquelle les couches sont plaquées, on rencontre d'abord les couches de Fuveau avec Cyrènes, un peu plus haut les couches saumâtres à *Melanopsis galloprovincialis,* et enfin les calcaires à Hippurites. L'ensemble de ces couches, très réduites, n'a guère qu'une vingtaine de mètres; mais la succession est très nette et la superposition bien visible. La stratification est à peu près horizontale (*fig.* 36).

Au ruisseau de la Taulère (*fig.* 37), les couches sont également horizontales : à la base, dans le ruisseau, on trouve les calcaires à Hippurites, puis 10^{m} de calcaires et de marnes de Fuveau, très fossilifères, avec les couches à Physes (niveau plus élevé) vers la partie supérieure. Au-dessus de ces couches vient un gros banc de calcaire noir, durci, cristallin, tout pénétré de veines de carbonate de chaux et rappelant comme apparence les calcaires alpins; ce banc ne se pro-

longe pas loin, il se termine en pointe dans les marnes; il semble représenter un *retour* des calcaires de Fuveau, et, en effet, près de la Grande Bastide, on trouve des Cyrènes dans un banc tout semblable. En tout cas, au-dessus de ce

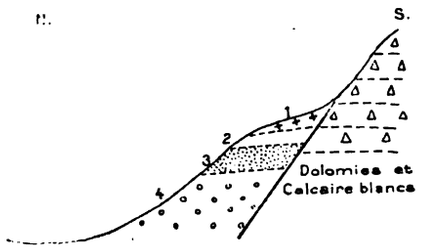


FIG. 36. — Coupe relevée sur le chemin de Nans à la Sainte-Baume.
(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XVI, p. 761.)

1. Calcaires à Hippurites; 2. Couches à *Melanopsis*; 3. Couches à Cyrènes; 4. Poudingues tertiaires.

banc et des couches à Physes, reparaissent les calcaires à Hippurites avec quelques bancs des couches à *Cardium, Venus* et *Cyclolites* du Sénonien supérieur.

Il est absolument inadmissible qu'un affaissement, en laissant l'ensemble des couches horizontales, ait inversé pour quelques-unes d'entre elles l'ordre na-

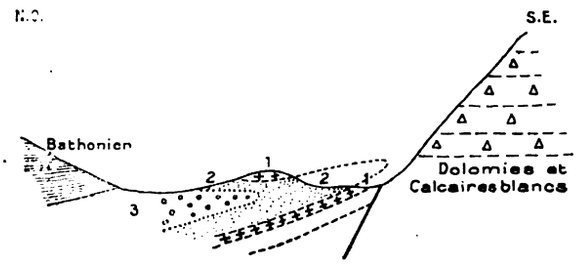


FIG. 37. — Coupe du Ruisseau de la Taulère.
(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XVI, p. 761.)

1. Calcaires à Hippurites; 2. Couches de Fuveau; 3. Calcaire noir.

turel et primitif de succession. Il faut donc que ces couches aient été repliées sur elles-mêmes avant l'affaissement qui les a plaquées contre la falaise dolomitique; elles faisaient par conséquent partie d'un pli couché, qui ne peut être que celui de la Sainte-Baume.

Nécessité de rattacher ces renversements au pli de la Sainte-Baume.

Si l'on prend, en effet, la coupe de cette chaîne, telle que je l'ai donnée plus haut (*fig.* 30), on voit que les couches renversées de la crête et les couches non renversées de l'escarpement du Plan d'Aups forment les deux flancs d'un pli synclinal, dont la partie centrale, disparue par dénudation, devait comprendre les couches de Fuveau et les poudingues supérieurs concordants. Rétablissons

par continuité les assises disparues, en les marquant par des pointillés : on voit que les couches de Fuveau, enveloppées par les bancs à Hippurites, se trouveront précisément au-dessus des lambeaux que nous venons d'étudier. La faille de tassement qui a produit la falaise du Plan d'Aups a abaissé, avec l'ensemble des terrains, cette partie du pli de 200^{m} à 300^{m} (*fig.* 38). Le renversement des couches crétacées s'explique ainsi de lui-même, et en même temps on est mis sur la voie de l'explication de la présence de la bande jurassique qui leur fait suite au nord. Si en effet on reconstruit, non plus seulement le centre du pli, mais son ensemble, conformément au schéma théorique des plis couchés donné plus haut, on voit qu'il doit ramener des terrains jurassiques au-dessus des

Probabilité que la bande jurassique, qui fait suite au nord, est superposée au Crétacé.

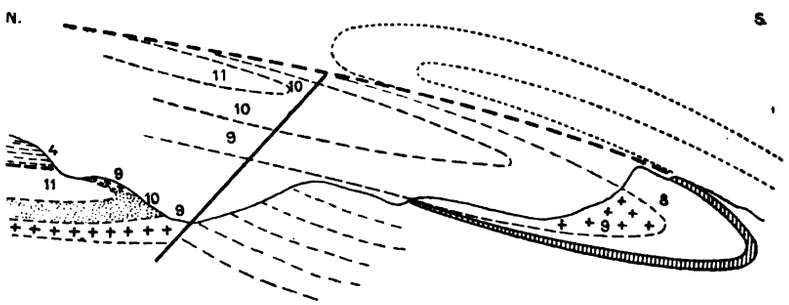


Fig. 38. — Coupe du Pied de la Colle au Plan d'Aups.
(*B. S. G. F.*, 3^{e} série, t. XVI, p. 763.)

4. Bathonien; 8. Urgonien; 9. Calcaires à Hippurites; 10. Série de Fuveau; 11. Poudingues.

Échelle = 1 : 40 000.

assises cretacées, et que le même affaissement de 200^{m} ou 300^{m} suffit alors pour expliquer l'existence d'une nouvelle bande jurassique aux points où on la constate.

Ainsi, nous sommes amenés par induction à concevoir la possibilité et même la probabilité de la superposition indiquée au début. Cette probabilité se trouve encore augmentée par ce fait qu'il y a, dans le vallon de la Taulère, un *détroit* de poudingues, qui fait communiquer les deux dépressions crétacées et interrompt la continuité de la ligne des collines jurassiques. Enfin, on peut encore invoquer comme argument l'allure générale de la ligne qui borde au nord ces collines jurassiques et les sépare du Crétacé : cette ligne se présente partout avec les apparences d'une ligne de superposition; les bancs crétacés et jurassiques ont une inclinaison à peu près concordante, et le contact suit les irrégularités du sol, pénétrant en anses dans les vallons comme le ferait un affleurement ordinaire. Il est incontestable que la faille, ou mieux que la surface de séparation est, de ce côté, une surface très oblique.

Preuves de cette superposition.

Mais l'induction, qui pourrait sembler insuffisante, peut se vérifier par

l'observation directe. On peut voir en deux points la *superposition du Jurassique aux poudingues supra-crétacés.*

Le premier de ces points n'est pas, il est vrai, sur le bord de la rangée même de collines, mais sur celui d'un îlot jurassique isolé au milieu des terrains tertiaires, entre la Grande Bastide et le Plan d'Aups. L'îlot est coupé par la route du Couvent, et les tranchées de cette route, un peu avant le dernier tournant, montrent les marnes bathoniennes, avec *Pecten silenus,* reposant sur les poudingues.

C'est assez pour conclure que les recouvrements se sont étendus jusque-là, mais cela pourrait paraître insuffisant pour étendre la conclusion à toutes les collines voisines. La preuve définitive se trouve en suivant plus loin à l'ouest la dépression fuvélienne, et en arrivant, à l'ouest du point 870, au pied du col abrupt qui limite les grands escarpements déchiquetés de Roque-Forcade. Là, on voit les poudingues former la base de la falaise verticale et supporter les calcaires compacts de l'Oxfordien. La ligne de contact est ondulée et irrégulière, mais voisine de l'horizontale, et la superposition est manifeste.

Les deux premières bandes crétacées se relient *sous* le Jurassique qui les sépare.

Ainsi, les deux premières bandes crétacées se relient entre elles d'une manière continue *sous* le Jurassique qui les sépare; la Carte montre clairement comment elles se relient d'autre part, en contournant la Lare, avec la bande de Saint-Zacharie. On voit donc que le bassin crétacé sur lequel a pu se déverser le pli de la Sainte-Baume s'étendait au nord presque jusqu'à la vallée de l'Huveaune. La faille de Rougiers a morcelé ce bassin, en isolant les calcaires à Hippurites du Plan d'Aups; le bombement de la Lare a introduit un second élément de discontinuité dont il faut dire quelques mots.

La seconde et la troisième bande crétacée se relient à l'ouest, autour du bombement anticlinal de la Lare.

La retombée des couches est normale dans toute la partie nord-ouest, où le massif est contourné en demi-cercle par les affleurements crétacés; l'Urgonien et l'Aptien font, il est vrai, défaut, mais comme ils ne reparaissent pas plus au nord, leur absence est certainement due aux conditions mêmes de sédimentation. Au sud, le Néocomien disparaît d'abord entre les dolomies jurassiques et les calcaires à Hippurites également inclinés; puis ce sont les calcaires à Hippurites eux-mêmes qui sont supprimés, et sur 2^{km}, à partir de la Taulère, le Jurassique est en contact direct avec les poudingues supra-crétacés, intercalés dans des marnes rouges. Plus à l'est, en continuant vers Nans, les couches de Fuveau et les calcaires à Hippurites s'intercalent de nouveau; leur disparition locale n'est donc, comme celle du Néocomien, que le résultat de glissements produits sur la retombée du pli anticlinal.

Étirements et suppressions de couches sur les bords de ce bombement.

Du côté du nord, c'est-à-dire du côté de Saint-Zacharie, la discontinuité produite par des glissements analogues est encore plus marquée, parce que le Jurassique supérieur est resté horizontal jusque sur le bord de la dépression (*fig.* 39); il y a donc véritablement faille, faisant buter sur plus de 1^{km} le Danien (couches de Fuveau) contre ces dolomies. Mais, si l'on suit avec soin

la limite, on voit les bancs jurassiques horizontaux accentuer de place en place leur plongement vers la dépression; des lambeaux plus ou moins importants de

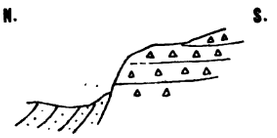


Fig. 39. — Coupe de la bordure nord du massif de la Lare, près de Saint-Zacharie.

A droite, dolomies et calcaires blancs; à gauche, couches de Fuveau.

calcaires à Hippurites s'intercalent, tantôt sous forme de placages (*fig.* 40), tantôt en superposition régulière. Enfin, à l'est et à l'ouest, ces lambeaux sont plus développés et arrivent à donner une succession normale et complète, si l'on admet du moins, comme cela paraît incontestable, que dans cette partie le Sénonien s'est déposé directement sur le Jurassique.

Ainsi le pli de la Lare est un pli anticlinal, qui, tout en ayant un faible développement longitudinal (car il s'étale bientôt et disparaît au nord-est,

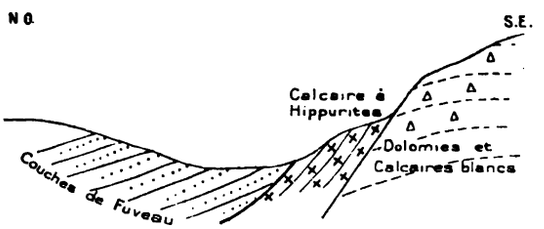


Fig. 40. — Coupe prise le long du Ruisseau des Bosqs.

(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XVI, p. 752.)

de même qu'il plonge au sud-ouest sous le Crétacé), et tout en possédant une assez faible courbure, présente sur ses deux flancs des suppressions de couches, telles qu'elles ne se produisent ordinairement que sur les flancs des plis très accusés. De plus, ces suppressions se font en partie par des failles nettement tranchées, qui rappellent comme allures les failles d'affaissement. Sans en conclure, comme j'avais d'abord été tenté de le faire, que le bombement n'est qu'une apparence produite par l'effondrement plus ou moins considérable des terrains tout autour du massif, et que le pli anticlinal résulte uniquement du *tassement* du bassin synclinal primitif, on peut du moins supposer que ces affaissements et tassements ont joué là un rôle important, en accentuant les dénivellations.

Quoi qu'il en soit de ce point, sur lequel je reviendrai, on se trouve, comme je l'ai annoncé, avoir reconstitué en avant de la Sainte-Baume un bassin synclinal, moins étendu que celui du Beausset, probablement aussi dès l'origine,

moins régulier, moins horizontal que lui, mais d'une largeur quatre fois supérieure à celle que lui assignait un premier examen.

Restes de la nappe jurassique qui a recouvert le bassin synclinal ainsi reconstitué.

Or, sur toute l'étendue de ce bassin, on trouve des traces et des témoins d'un ancien recouvrement jurassique. C'est d'abord tout le chaînon qui prolonge vers le nord jusque auprès d'Auriol, en un haut promontoire, le massif de Tête de Roussargue; ce sont ensuite les petites collines qui s'élèvent dans la dépression de Saint-Zacharie. On peut démontrer que les uns comme les autres sont formés de Jurassique *superposé au Crétacé.*

Promontoire des Bosqs.

L'examen de la Carte suggère immédiatement cette idée pour le promontoire des Bosqs. Il s'avance au milieu des couches crétacées, bordé à l'est et à l'ouest, aussi bien qu'au nord, par les couches de Fuveau ou par les poudingues. De plus, la faille ou ligne de discontinuité qui l'entoure est le prolongement ininterrompu de celle qui entoure de même les collines du Plan d'Aups et de Nans. Cette ligne sinueuse a sur tout son parcours la même allure, et sa signification doit être partout la même. C'est l'intersection avec le sol de la surface qui correspond à l'étirement du flanc renversé du pli anticlinal, et la Carte montre bien comment elle se raccorde près de Saint-Pons avec la bande étirée de la croupe de la Sainte-Baume. Les deux branches divergentes qu'elle enveloppe sont donc homologues, et l'on ne peut guère concevoir que l'une d'elles soit superposée au Crétacé sans que l'autre le soit également.

Couches crétacées renversées au pied de ce promontoire.

D'ailleurs, les arguments directs ne font pas défaut. C'est d'abord la coupe du pied des escarpements de Tête de Roussargue. Si l'on suit le chemin charretier d'Auriol à Coutronne jusqu'au point culminant où ce chemin tourne vers l'est, on se trouve sur les calcaires à Hippurites, inclinés légèrement vers la masse jurassique. En montant de là vers le col qui s'ouvre dans cette masse au sud-ouest, on trouve successivement, et presque horizontales, les couches à Turritelles, les couches saumâtres à *Melanopsis,* et même les couches à Cyrènes; puis de nouveau, au-dessus de ces couches, reviennent les calcaires jaunes à *Melanopsis* (Valdonnien) et les calcaires à Hippurites. L'Infralias très réduit et le Lias font suite, en concordance apparente; et, en suivant la limite, on trouve entre les deux séries des lambeaux de calcaires blancs, qui ne peuvent appartenir qu'au Jurassique supérieur. C'est le fait que j'ai signalé et dont j'ai discuté les conséquences autour de l'îlot du Beausset, celui qu'on peut considérer comme caractéristique des phénomènes de recouvrement : l'existence, entre la série plus ancienne et la série plus récente qui est à son pied, de lambeaux de terrains intermédiaires renversés.

Bombement jurassique, montrant au centre de l'anticlinal les couches daniennes lacustres.

Sur l'autre versant, c'est-à-dire sur le versant ouest de ces coteaux, on peut encore indiquer la coupe intéressante du petit vallon qui se trouve au pied du signal marqué : *Fin de la Chaîne de la Sainte-Baume,* sur la Carte de l'État-Major. Là, de même que l'ensemble du Jurassique forme un promontoire au milieu du Crétacé, les couches de Fuveau à leur tour forment une petite anse

dans le Jurassique. Si, par ce vallon, on fait une coupe dirigée de l'est à l'ouest (*fig.* 41), on trouve à l'est la série complète des assises jurassiques depuis l'Infralias jusqu'à l'Oxfordien, ayant presque 400^{m} de hauteur, et montrant une légère inclinaison vers l'est; de l'autre côté, le coteau qui borde le vallon est moins élevé; on trouve à la base l'Infralias et au sommet les dolomies du Jurassique supérieur; mais entre les deux n'affleurent que des lambeaux des étages intermédiaires, quelques bancs intermittents de Lias, de Bathonien ou d'Oxfordien. La série, qui a 400^{m} à l'est, ne compte plus guère là que 40^{m} d'épaisseur moyenne. L'inclinaison des bancs n'est pas très forte,

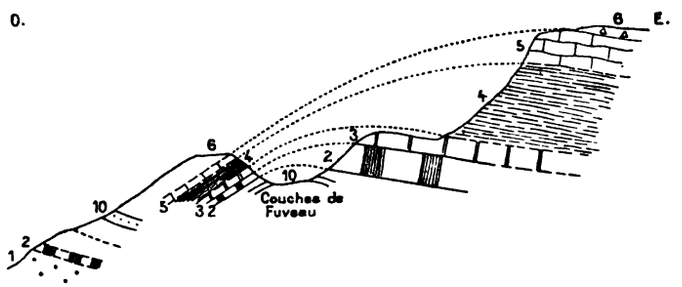


Fig. 41. — Fin de la Chaîne de la Sainte-Baume.
(*B. S. G. F.*, 3^{e} série, t. XVI, p. 770.)

1. Trias; 2. Infralias; 3. Lias et Bajocien; 4. Bathonien; 5. Oxfordien; 6. Jurassique supérieur; 10. Couches de Fuveau.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000 environ.

mais nettement marquée vers l'ouest. Ainsi les deux coteaux se présentent comme les deux retombées d'une voûte, l'une normale, l'autre étirée; dans le vallon qui en forme le centre, on doit donc s'attendre à trouver le Trias; or, au lieu du Trias, on trouve les couches lacustres du Crétacé supérieur. Cette disposition singulière d'une voûte jurassique, qui laisse affleurer en son centre le Crétacé supérieur, s'explique tout naturellement si le Jurassique repose sur le Crétacé, et elle semble inexplicable dans toute autre hypothèse.

Anciens travaux de mines.

Il y a d'ailleurs eu des travaux de mine auprès de ce promontoire jurassique, comme auprès du promontoire triasique de Fontanieu; c'est à la Veyde, sur le versant est, qu'ont eu lieu ces travaux de recherches et d'exploitation. Malheureusement, ils sont abandonnés depuis longtemps. Il résulte pourtant des communications de M. Garance, ancien ingénieur de cette mine, qu'une galerie poussée dans le lignite crétacé s'est avancée de 150^{m} sous la colline; là, un brouillage local a fait disparaître la couche, sans faire pourtant apparaître les calcaires jurassiques. C'est au moins un indice sérieux à ajouter aux arguments précédents.

Ilots jurassiques de

Il me semble inutile d'insister ici plus longuement sur le détail des observations

qui mènent à la même conclusion pour les îlots jurassiques de la dépression de Saint-Zacharie. Je me contente seulement de rappeler que dans l'un d'eux, le plus oriental, on trouve des bancs de calcaires à Hippurites entre les couches lacustres et le Jurassique, et que dans un autre, à l'ouest de la Gastaude, on voit les marnes bathoniennes et les calcaires à silex du Lias, réduits à 2^m d'épaisseur, plonger sous l'Infralias.

la dépression de Saint-Zacharie.

Si tous ces lambeaux superposés au Crétacé viennent de la Sainte-Baume et de la partie du pli étudiée plus haut, *le cheminement horizontal n'a pas été de moins de huit kilomètres*. Mais il serait possible qu'il fallût réduire ce nombre, si, conformément à une hypothèse que j'ai développée autre part, le pli de la Sainte-Baume, au lieu de se poursuivre rectilignement, s'infléchissait et tournait autour du massif de la Lare; dans cette hypothèse, le pli anticlinal de la vallée de l'Huveaune et le pli du chaînon de la Sainte-Baume, quoique semblant se suivre parallèlement à 10^{km} de distance, ne formeraient en réalité qu'un seul et même pli. Il importe d'exposer au moins sommairement les éléments de la question.

Le pli anticlinal de la Sainte-Baume tourne autour du bassin crétacé.

Le pli de la Sainte-Baume, tel que je l'ai décrit plus haut, semble s'arrêter brusquement à la petite plaine d'alluvions de Saint-Pons, vers laquelle vient aussi converger, en bancs verticaux, la bande d'Hippurites du Plan d'Aups. L'axe anticlinal, comme la bande synclinale, montrent une tendance, en y arrivant, à s'infléchir vers le sud; mais ni vers le sud, du côté des plateaux de Cuges, ni vers l'ouest, du côté de Gémenos, on ne retrouve aucune trace de la continuation du pli, pas plus sous la forme de faille que sous celle de bombement des couches. Au nord seulement, dans le grand ravin de Saint-Pons, les Marnes irisées et l'Infralias affleurent et peuvent sembler le prolongement de la bande des mêmes terrains dans l'axe anticlinal. Il est vrai que ces terrains s'enfoncent doucement et régulièrement sous les crêtes de l'ouest, et qu'à l'est ils butent contre le Crétacé, sans qu'on voie d'abord apparence d'une retombée des couches. Il faut suivre de très près la limite pour découvrir quelques lambeaux de dolomies ou de calcaires bathoniens, froissés et étirés. Ces lambeaux pourtant suffisent à établir avec une grande probabilité l'existence du pli anticlinal (*fig.* 42); et dès lors ce pli, par raison de continuité, ne peut être que celui de la Sainte-Baume, brusquement dévié vers le nord. On conçoit bien, d'ailleurs, que l'étirement brusque, dû à la torsion, ait supprimé à peu près complètement les couches intermédiaires, et ainsi réduit le pli à une faille, ou à une surface de fracture plus franche.

Déviation brusque du pli à Saint-Pons.

Mais, au haut du ravin, cette faille s'éloigne vers l'est, pour entourer comme je l'ai dit les collines du Plan d'Aups et de la Taulère; le Lias, le Bajocien et le Bathonien affleurent seuls, en couches presque horizontales, au fond du cirque qu'entourent de toutes parts les sommets oxfordiens. Là, le pli paraît de nouveau s'interrompre; dans le massif de Tête de Roussargue, à l'ouest,

Disparition apparente du pli, due à la continuité de la nappe de recouvrement et de la retombée normale.

toutes les couches plongent régulièrement vers le sud-ouest et, sauf quelques accidents locaux sans importance, la succession en est régulière. Cette régularité

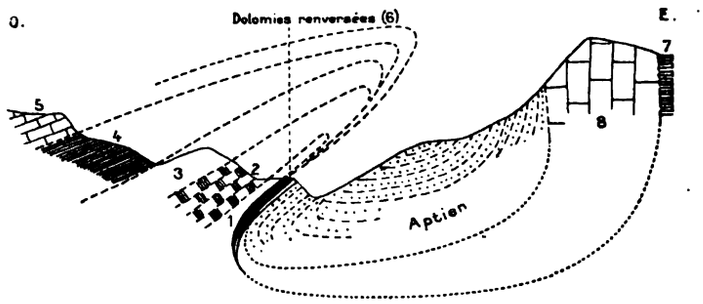


FIG. 42. — Coupe du ravin de Saint-Pons.
(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XVI, p. 774.)

1. Trias; 2. Infralias; 3. Lias et Bajocien; 4. Bathonien; 5. Oxfordien; 6. Jurassique supérieur; 7. Néocomien; 8. Urgonien.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000 environ.

semble inexplicable; car la série jurassique de Tête de Roussargue est en continuité avec celle du promontoire des Bosqs, que nous avons vue être en recouvrement sur le Crétacé. On se heurte donc à cette difficulté étrange, qu'il

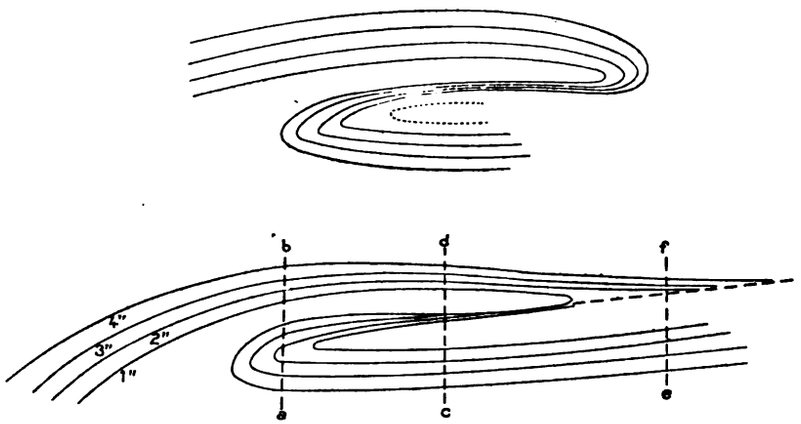


FIG. 43. — Coupe schématique d'un pli couché et progressivement étiré.
(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XVI, p. 756.)

y ait déversement du pli sans qu'il y ait de pli, au moins en apparence. Les phénomènes accessoires continuent, quand le phénomène principal dont ils dépendent a pris fin. Il faut se rapporter à la coupe théorique d'un pli couché non dénudé, par exemple à la coupe (*fig.* 43), pour comprendre la raison de cette anomalie. Le pli anticlinal, qu'on chercherait en vain sur le terrain,

existe bien, mais en profondeur. Il est *masqué par les affleurements;* autrement dit, la partie déversée et la retombée normale du pli sont en continuité et masquent la partie centrale. C'est ce qui arriverait pour tous ces plis couchés, si la dénudation n'avait pas fait son œuvre, et si elle n'avait pas entamé plus ou moins profondément le manteau primitif des formations plus récentes.

Continuation du pli en demi-cercle dans la vallée de l'Huveaune, avec étirement croissant de la retombée jurassique.

Au delà du massif de Tête de Roussargue, les terrains tertiaires discordants arrêtent les observations, et l'indice le plus voisin qu'on puisse utiliser est le petit îlot triasique et jurassique de Pont de l'Étoile. Les affleurements qui, avec de forts étirements, vont du Muschelkalk au Néocomien, semblent assez nettement y dessiner une demi-circonférence qui permettrait de rattacher la direction précédente aux affleurements triasiques de Roquevaire, d'Auriol et de Saint-Zacharie. Mais d'un autre côté, entre Saint-Marcel et le massif d'Allauch, au nord-est de Marseille, un massif plus considérable de Trias et d'Infralias, celui des Camoins, vient percer au milieu du bassin tertiaire. Quoique l'allure des bancs y soit relativement peu tourmentée, il y a là certainement la trace d'un pli anticlinal, qui prolonge celui de l'Étoile et par conséquent celui de Roquevaire; et alors l'hypothèse précédente suppose que deux plis distincts vont se réunir dans celui de la vallée de l'Huveaune. Il n'y a aucune raison, dans ce cas, pour ne pas voir dans le Trias des Camoins la continuation directe de l'axe anticlinal de la Sainte-Baume, et, dans celui de la vallée de l'Huveaune et de l'Étoile, la trace d'un plissement transversal qui vient se raccorder avec lui.

L'observation ne peut fournir aucune lumière, puisque dans la région intermédiaire, dans celle où se ferait soit le contournement d'un des plis, soit le raccord des deux plis, tout est recouvert par les terrains tertiaires. L'étude du massif d'Allauch nous forcera à revenir sur cette question, sans nous fournir non plus d'argument décisif en faveur de l'une ou de l'autre hypothèse. Le tracé des affleurements néocomiens de la retombée sud, de Cuges à Saint-Jean de Garguier, montre bien il est vrai, comme je l'avais dit, une tendance très nette à s'infléchir vers les affleurements de Roquevaire; il est vrai aussi qu'il n'y a pas d'autres affleurements avec lesquels on puisse les raccorder, mais il serait possible que, si l'on pouvait supprimer les couches tertiaires, on vît cette bande néocomienne se continuer vers l'ouest, au sud du massif des Camoins. Au fond, il y a indétermination, par suite de l'insuffisance des données d'observation, et aucun raisonnement ne peut y suppléer. On voit donc en quoi la conclusion que j'avais précédemment formulée était trop hâtive: il est bien certain que toutes les lignes d'affleurement s'infléchissent autour du massif de la Lare, mais il n'est pas certain pour cela que le pli de la Sainte-Baume tourne autour de ce massif. Le pli de la vallée de l'Huveaune peut aussi bien être un pli distinct et indépendant, et la sinuosité des lignes d'affleurement être due à la *superposition* de ces plis distincts.

On ne peut décider si le pli s'est déversé sur tout son parcours, ou si la nappe de recouvrement est uniquement venue du sud.

La question qui doit maintenant se poser n'en est, d'ailleurs, pas modifiée et reste la même dans les deux hypothèses : les masses de recouvrement que j'ai décrites viennent-elles toutes du sud, ou ont-elles pu venir en partie du nord, c'est-à-dire de l'emplacement actuel de la vallée de l'Huveaune? Les deux coupes (*fig.* 44 et *fig.* 45), faites pour plus de clarté en ne tenant pas compte

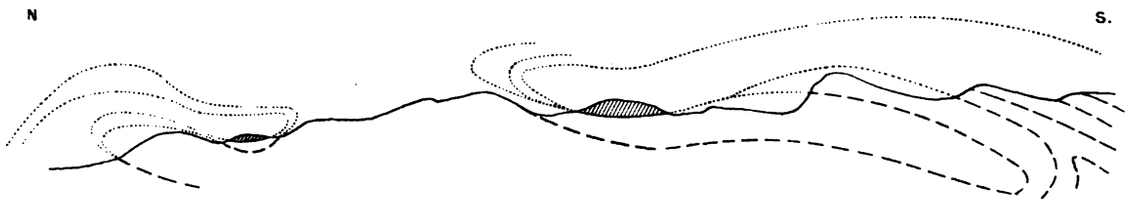


Fig. 44. — Schéma de la structure de la Sainte-Baume dans l'hypothèse d'un double pli.

des affaissements postérieurs, montrent la possibilité des deux hypothèses. La première indique un *double pli,* analogue au fameux double pli des Alpes glaronnaises, dont les deux branches se renversent l'une vers l'autre ; la seconde ne suppose pas pour le pli de l'Huveaune une dénudation aussi profonde, et lui laisse son caractère de pli droit, conformément à ce qu'indiquent les affleure-

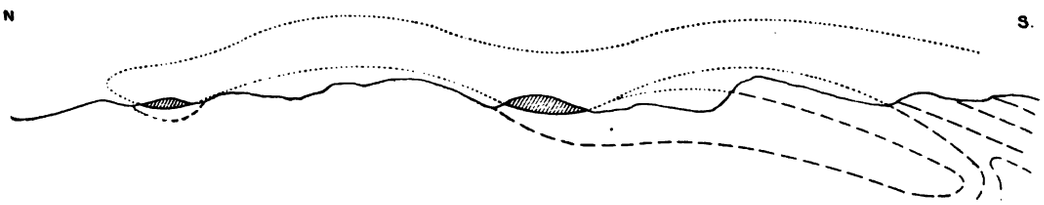


Fig. 45. — Schéma de la structure de la Sainte-Baume dans l'hypothèse d'un pli unique.

ments conservés. Dans les deux cas, pour reconstituer l'état actuel, il faut supposer un affaissement de la bande de Saint-Zacharie, comme de celle de la Taulère (*fig.* 35).

L'état actuel des observations ne permet pas de choisir avec certitude entre ces deux hypothèses. Quoique la coupe, déjà ancienne (*fig.* 35), semble indiquer une tendance à conclure en faveur du double pli, je crois que cette hypothèse se heurte à des objections plus sérieuses que l'autre. D'abord il y a une telle continuité, comme composition et comme altitude, entre tous ces lambeaux de recouvrement, qu'il est impossible de séparer par une limite précise deux parties, venues l'une du nord et l'autre du sud. De plus, il est assez improbable que, si la bande de Trias d'Auriol est le noyau d'un pli couché, son bord, sur 8^{km} de longueur, ne montre nulle part l'amorce du renversement. Cette ligne de contact correspond à la retombée d'un pli, prodigieusement étiré il est vrai, mais nulle part renversé. A l'ouest, sur plus de 3^{km}, le Muschelkalk est directe-

Probabilité de la seconde hypothèse.

ment en contact avec les couches de Fuveau; au-dessus de Roquevaire seulement, près du lieu marqué le Fauge sur la Carte de l'État-Major, on observe entre les deux une succession de couches jurassiques. Quand la bande s'infléchit à l'est, au-dessus d'Auriol, on voit s'intercaler d'abord un banc d'Hippurites, puis, sur la rive droite du ruisseau qui descend de Coutronne et des Bosqs, une série plus complète : des dolomies de l'Infralias, un banc de Lias avec surface supérieure couverte d'Huîtres et de débris siliceux (Bajocien), 3^m de calcaires compacts et dolomies (Oxfordien), puis 10^m de Jurassique supérieur. Le tout est presque vertical; un banc de calcaire grumeleux (3^m), puis des marnes et calcaires à Hippurites, puissants de 30^m, représentent la série crétacée marine. Plus loin, jusqu'aux Lagets et à la Gastaude, ces couches intermédiaires augmentent d'épaisseur, mais toujours avec des lacunes; les bancs à Hippurites n'apparaissent que par lambeaux au bord des couches lacustres. Avant la route du Couvent (à l'ouest de cette route), le Muschelkalk bute de nouveau directement contre le Crétacé; mais, dans tous les cas, le Trias et les lambeaux jurassiques intermédiaires montrent un pendage incliné vers la dépression fuvélienne; quand ils atteignent la verticale, c'est seulement sur les bords, et ils ne la dépassent jamais.

On pourrait encore chercher un indice dans l'étude même des collines jurassiques superposées au Crétacé, en se fondant sur la remarque faite au Beausset, que les étages inférieurs tendent à s'amincir et à disparaître dans les masses de recouvrement, à mesure qu'on s'éloigne du noyau du pli anticlinal. Mais j'ai eu soin d'observer que cette remarque locale ne pouvait avoir le caractère d'une règle générale et absolue. En tout cas, voici le résumé de ce que peut apprendre cette étude : dans la chaîne des collines du Plan d'Aups et de Nans, la série comprend l'Infralias, le Lias, le Bajocien et le Bathonien; elle est, en général, complète, sans amincissements, et forme dans son ensemble un synclinal bien accusé, avec le Bathonien au centre. En deux points pourtant, près de la ferme de Coutronne et à l'ouest du Plan d'Aups, le Lias fait complètement défaut, et même le Bathonien repose directement sur l'Infralias.

Dans la branche homologue des Bosqs, la série est également à peu près complète, avec des suppressions seulement locales; elle monte là jusqu'aux dolomies supérieures et aux calcaires blancs; la pente générale, avec des froissements secondaires, est vers la Lare, et de ce côté (à l'est) les assises inférieures disparaissent et s'étirent, de manière que c'est le plus souvent le Bathonien, au lieu de l'Infralias, qui est en contact avec le Crétacé. Mais la coupe précédemment donnée (*fig.* 41) prouve qu'au moins au sud-ouest les étirements se sont également produits dans les parties les plus voisines du noyau central. Enfin les îlots de Saint-Zacharie sont formés de couches presque horizontales, mais légèrement inclinées vers le sud; sur le versant nord, on trouve, en général, quelques bancs d'Infralias à la base; le Lias, fossilifère, avec ses calcaires

bleuâtres, et le Bajocien, avec ses silex, ne dépassent guère 10^{m} d'épaisseur et parfois manquent complètement; le Bathonien marneux, plus constant et mieux développé, atteint 50^{m}. Au sommet et sur le versant sud affleurent les calcaires compacts, gris rougeâtre de l'Oxfordien, qui, là, reposent directement sur le Crétacé et se sont éboulés sur ses pentes. En résumé, les étirements sont là plus marqués que dans les collines du Plan d'Aups, et la série *se complète vers le nord.* De plus l'îlot le plus septentrional, celui qui est situé entre les deux petits cols menant de la Gastaude aux Lagets, montre un plus grand développement des bancs d'Infralias, qui y atteint 50^{m} d'épaisseur, et *sous cet Infralias,* le Lias et le Bathonien renversés. La pente est vers le nord, mais cette exception à la direction générale doit sans doute s'expliquer par des affaissements locaux.

Ainsi, quand, allant de la Lare vers l'Huveaune, on compare les différentes coupes des coteaux superposés au Crétacé, on rencontre la même succession de phénomènes qu'en allant du Castellet vers le Vieux-Beausset et vers le Val d'Aren, c'est-à-dire vers le côté d'où sont parties les masses de recouvrement : il y a intercalation progressive, à la base de ces masses, des terrains de plus en plus anciens, puis d'une bande renversée.

La manière dont varient les suppressions de couches, dans la nappe de recouvrement, ne peut indiquer avec certitude le sens dans lequel s'est fait le mouvement.

C'est là le fait principal qu'on peut invoquer en faveur d'un déversement vers le sud : si l'on admet, en effet, comme on est tenté de le faire, que dans ces mouvements progressifs où les bancs s'échelonnent sur la route parcourue, les bancs supérieurs doivent être ceux qui s'avancent le plus loin, le sens du mouvement (vers le sud) est déterminé par les observations précédentes. Mais, si le pli couché est en réalité un pli déroulé, à son extrémité la courbure anticlinale doit reparaître, amenant comme toujours un moindre étirement et laissant s'intercaler de nouveau les couches renversées (*fig.* 46). En d'autres termes,

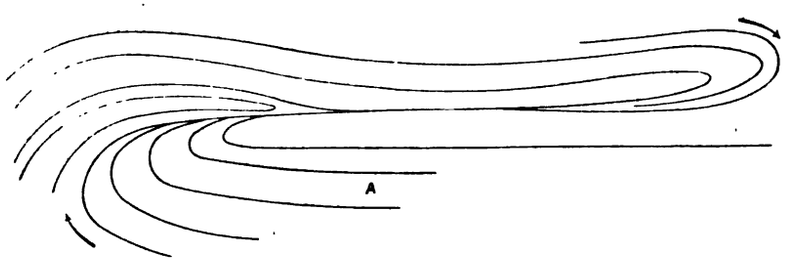


Fig. 46. — Schéma d'un pli couché.
(*B. S. G. F.*, 3^{e} série, t. XVII, 1888-89, p. 243.)

de ce que la série de recouvrement se complète, on peut seulement conclure qu'on s'éloigne de la partie centrale du pli, mais sans pouvoir affirmer *a priori* qu'on se rapproche plutôt du noyau central que de la charnière terminale, et par conséquent on ne peut pas en induire le sens du mouvement.

En résumé, l'étude du pli de la Sainte-Baume, entre la chaîne de ce nom et l'Huveaune, nous apprend qu'il existait en avant de ce pli un bassin crétacé large de 8^{km} ou 9^{km}, et que sur toute l'étendue de ce bassin ont été charriées des masses jurassiques. Il est probable, sans qu'on puisse l'affirmer, que le mouvement est seulement venu du sud, et que par conséquent son amplitude totale n'est guère inférieure à la largeur totale du bassin reconstitué. Les suppressions intermittentes de couches dans ces terrains de recouvrement suffisent à donner la preuve des déplacements horizontaux qu'ils ont subis. Leur étude est compliquée et rendue plus intéressante par les affaissements postérieurs qui ont morcelé le bassin.

Probabilité d'un cheminement horizontal de 8^{km} ou 9^{km}.

La continuation vers l'est du pli de la Sainte-Baume se poursuit d'une manière presque rectiligne jusqu'au-dessus du bassin de Camps, prolongation du plateau du Plan d'Aups; mais, comme je l'ai déjà dit, cette partie est encore imparfaitement étudiée (1). Il y a, de plus, à noter de ce côté la division et les ramifications du pli, en approchant du massif des Maures et de la plaine permienne. La plus importante est celle qui descend vers Signes, se poursuit par Méounes et Roquebrussane autour du massif dolomitique de Mazaugues, puis, un instant masquée par les alluvions de la plaine de Garéoult, se bifurque de nouveau en deux branches qui entourent le massif de Pujet, l'une se dirigeant vers Besse, et l'autre allant se perdre au-dessous de Rocbaron. Il est remarquable que ces branches extrêmes se terminent toujours dans une direction normale au bord de la plaine permienne, sans que la régularité de son contour en semble aucunement affectée.

Continuation vers l'est du pli de la Sainte-Baume.

Ramifications et plis secondaires.

Ces plis secondaires ne donnent lieu à aucun renversement, mais leurs flancs sont souvent fortement étirés, et il en résulte, notamment à Signes et entre Signes et Méounes, l'apparence remarquable d'une bande triasique, étroite et fortement plissée, comprise entre deux larges plateaux de dolomies horizontales, dont les escarpements déchiquetés la dominent de plusieurs centaines de mètres. Et même, dans ce trajet, loin que des lambeaux de la série intermédiaire se montrent de place en place sur le bord du Trias, les dolomies plongent plus ou moins vers la dépression et s'enfoncent sous les termes crétacés (jusqu'au Sénonien et jusqu'à des poudingues probablement daniens), qui bordent le Trias sur une longueur de 5^{km}. Cette inclinaison des bancs vers la dépression est de nature à faire croire à un affaissement local de la clef de voûte anticlinale, et il est assez remarquable de constater que cet affaissement hypothétique pro-

Bande triasique de Méounes et de Signes.

(1) Les nouvelles recherches de M. Zürcher, dont j'ai pu contrôler l'exactitude, montrent qu'à l'est de Mazaugues, dans le massif de la Loube et dans la vallée de Roquebrussane, les recouvrements ont encore une largeur de plus de 2^{km}. Les hautes falaises dolomitiques de la Loube sont, en partie du moins, *posées sur le Crétacé.*

longerait précisément la ligne déjà mentionnée qui, entre Carpiagne, Cuges et Signes, est jalonnée par une série d'accidents du même genre. En tout cas, il n'est pas douteux que la cause première de l'isolement de la bande triasique ne soit due à l'existence d'un pli anticlinal, à flancs fortement étirés; car, avant d'arriver à Néoules, on voit toute la retombée orientale reparaître par l'intercalation successive des termes disparus, et de même, à Roquebrussane et à Garéoult, l'autre retombée, à l'ouest et au nord, se complète également.

4° Le massif d'Allauch et le pli de la Nerthe.

Continuation vers l'ouest du pli de la Sainte-Baume; probabilité d'un nouveau contournement vers l'ouest à Saint-Zacharie.

Le pli de la Sainte-Baume, d'après ce qui précède, se montrerait brusquement arrêté ou brusquement dévié à la vallée de l'Huveaune, c'est-à-dire au point même où il a produit les déplacements horizontaux les plus importants. Dans sa prolongation immédiate à l'ouest, on trouve d'abord, autant que les terrains tertiaires permettent de suivre les faits, une large bande de Trias, celle de la vallée de l'Huveaune, puis un massif très complexe, mais différant complètement d'allures avec ceux que nous avons étudiés, le massif d'Allauch (1). Plus loin seulement, la chaîne de l'Étoile, renversée sur le bassin crétacé de Fuveau, présente nettement la coupe d'un pli couché, que je crois être la continuation du pli de la Sainte-Baume. *A priori*, on ne s'explique pas que des déplacements horizontaux de plusieurs kilomètres s'arrêtent ainsi brusquement et sans continuation, surtout quand on les voit reprendre un peu plus loin; si, dans la partie intermédiaire, ils semblent faire défaut, on doit se demander si ce n'est pas la dénudation qui en a fait disparaître la trace, ou encore, si les anomalies de la région n'en seraient pas une conséquence indirecte. C'est bien, en effet, la conclusion à laquelle va nous mener l'étude de ces anomalies, les plus complexes peut-être et les plus extraordinaires de toute la Provence.

Je dirai d'abord quelques mots de la bande transversale de Trias. Si on la considérait comme continuant l'axe anticlinal de la Sainte-Baume, une nouvelle inflexion devrait la ramener dans la direction première de ce pli, c'est-à-dire dans la direction de l'ouest. Il n'y a rien dans les affleurements qui permette d'admettre ce nouveau changement de direction. En réalité, le Trias s'arrête à Saint-Zacharie : il semble qu'il vienne se buter contre la masse des calcaires compacts et des dolomies que traverse la route de Saint-Maximin, et c'est même une étude curieuse que celle des sinuosités et des plissements multiples des terrains inférieurs, au pied de la corniche presque horizontale de

(1) *Carte géologique détaillée de la France*, feuilles 235 (*Aix*) et 247 (*Marseille*).

calcaires oxfordiens qui domine à l'est la route du Couvent. En tout cas, ces replis ne se retrouvent, même affaiblis, ni dans la corniche, ni dans les masses calcaires qui lui font suite à l'est. Mais à quelques kilomètres plus à l'est, au sud de Nans, une nouvelle bande triasique reprend, en face de celle de Saint-Zacharie, et se continue bien loin vers le nord, au delà de Barjols, toujours transversale aux grands plis. Avec l'affleurement du Trias reprennent tous les plis secondaires qui faisaient défaut dans les calcaires jurassiques. L'oblitération de ces plis empêche de relier l'une à l'autre avec certitude les deux bandes de Trias, il faut seulement indiquer la conclusion comme bien vraisemblable. La bande triasique de l'Huveaune serait alors la trace d'une large ondulation transversale, indépendante en quelque sorte du système des grands plis couchés. L'absence dans cette bande (sauf entre Nans et Saint-Zacharie) de tous les terrains plus récents que le Trias, la suppression constante sur ses bords d'une partie des terrains jurassiques, la coïncidence de son emplacement avec celui des terrains oligocènes, tout concourt à lui donner une physionomie spéciale; c'est un problème important qui reste à résoudre et que je puis seulement indiquer dans ce Mémoire.

Bordure méridionale du bassin de Fuveau.

A l'ouest de cette bande triasique, je commencerai par décrire, sans rien préjuger du raccordement avec la Sainte-Baume, la bordure méridionale du grand bassin crétacé de Fuveau. Ce bassin forme, au sud des monts Regaignas, une sorte de golfe étroit qui, dirigé E.-O., s'avance jusqu'auprès de Saint-Zacharie, limité par les collines jurassiques d'Auriol et par celles de Peipin.

Collines d'Auriol.

Les collines d'Auriol sont formées presque exclusivement par les dolomies du Jurassique supérieur. Ces dolomies sont couchées sur le Crétacé, sans interposition de couches renversées, et rien ne peut indiquer la limite de la pénétration. A l'est, le bassin tertiaire de Saint-Zacharie interrompt les affleurements jurassiques, et le Crétacé (grès et calcaires à Hippurites), qui s'observe encore pendant 2^{km} sur les bords de ce bassin, devient tout à fait vertical; il n'y a donc en aucun cas à chercher à suivre ce nouveau pli couché du côté de l'est : ou la disparition des dolomies sous le Tertiaire correspond à une faille qui le rejette, ou il s'efface progressivement, en passant à un pli droit, dont la cuvette est de moins en moins accusée.

Les collines d'Auriol présentent vers le sud un accident important, qui s'arrête également au bassin de Saint-Zacharie, et qu'on pourrait être tenté, pour cette raison, de raccorder à celui qui limite au nord les mêmes collines. Cet accident présente les allures d'une faille, mais d'une faille très oblique, au moins sur une partie de son parcours; il ramène, le long de la route d'Auriol, le Néocomien au pied des dolomies jurassiques, et plus à l'est, au pied de la colline de Sainte-Croix, il fait même apparaître les couches de Fuveau, avec Cyrènes, et des argiles grasses, exploitées pour poteries. L'exploitation de ces argiles pénètre sous les couches jurassiques, qui par places les surmontent

même en îlots isolés. La couche fossilifère, avec Cyrènes, est située à la partie supérieure des argiles, au contact des calcaires jurassiques; elle est probablement renversée; mais, dans la série jurassique, l'ordre des couches est partout l'ordre normal.

Faille qui les limite vers le sud.

Ainsi, il y a là une faille presque horizontale, superposant le Jurassique au Crétacé sur plus de 500^{m} de largeur, et où le Jurassique aurait été poussé vers le sud. Il est naturel de se demander si cette faille n'irait pas rejoindre en profondeur celle qui limite au nord le même massif, ou, autrement dit, si tout l'ensemble des collines d'Auriol ne peut pas être considéré comme une *masse de recouvrement* superposée au Crétacé, et se rattachant, comme les îlots de Saint-Zacharie, comme le promontoire des Bosqs, à la grande nappe charriée en avant du pli de la Sainte-Baume. Mais, malgré l'interruption dans les affleurements, amenée par le manteau discordant des poudingues oligocènes de la Détrousse, il semble bien que les collines d'Auriol ont leur continuation à l'ouest dans celles de Peipin, pour lesquelles la même hypothèse est inadmissible : les mêmes terrains entrent dans la composition des deux séries de collines; les plis secondaires y sont en même nombre, et se font face assez exactement, ce qui serait un hasard bien extraordinaire, dans le cas où les unes feraient partie du substratum resté en place et les autres de masses charriées sur plus de 10^{km}. Ce n'est pas une preuve, mais c'est une présomption de sérieuse valeur contre cette nouvelle hypothèse.

Il faut alors se résoudre, en attendant la découverte possible de nouveaux indices, à admettre l'existence, auprès d'Auriol, d'une faille très limitée en direction et *couchée vers le sud,* c'est-à-dire en sens inverse des déplacements voisins.

Massif de Peipin.

Du côté de l'ouest, les terrains tertiaires, principalement sous forme de poudingues siliceux, viennent noyer les affleurements jurassiques et crétacés, et c'est seulement après une interruption de plusieurs kilomètres qu'on voit émerger du milieu de ces poudingues le petit massif de Peipin. Ce sont d'abord des marnes bathoniennes, flanquées de part et d'autre de dolomies jurassiques qui ne dépassent pas la verticale; mais, peu à peu, ces dolomies se renversent sous le Bathonien ou sous les calcaires oxfordiens qui les en séparent, et quand, au nord de Peipin, les marnes et poudingues du Crétacé supérieur (Bégudien) cessent à leur tour d'être masqués par le Tertiaire, on peut reconnaître que le Jurassique leur est superposé. Le déversement des terrains jurassiques est même assez important, comme le montre l'existence d'une série d'îlots, ou même de gros rochers isolés, posés au milieu du Crétacé. Après la route de Peipin à Valdonne, les terrains jurassiques renversés disparaissent et l'Infralias est en contact direct avec le Crétacé; au milieu de cet Infralias, assez largement étalé, la dénudation a fait apparaître un îlot de Crétacé. Ainsi, depuis Auriol jusqu'à Peipin, malgré les lacunes des observations, on peut suivre l'existence d'un pli renversé sur le Crétacé.

Chaîne de l'Étoile.

La limite des deux terrains subit une déviation brusque vers le sud en face de Valdonne; une faille importante, reconnue par les exploitations, ramène près de la surface des terrains crétacés un peu plus anciens, avec affleurement des couches de lignite de Fuveau. Ces couches arrivent presque horizontalement au pied de l'Infralias, également peu incliné, qui supporte la série jurassique normalement développée du massif de l'Étoile. Au début, il n'y a pas entre les deux de couches renversées; mais bientôt, en s'avançant vers l'ouest, les différents étages crétacés s'intercalent : d'abord les couches inférieures de la série lacustre, puis les calcaires à Hippurites, les calcaires à Caprines, et enfin l'Aptien, qui, peut-être associé au Gault, prend déjà à Saint-Savournin, mais surtout à Mimet, un développement considérable. En même temps, les étages inférieurs du Jurassique disparaissent. Ce sont successivement les marnes bathoniennes, puis, après Saint-Savournin, les dolomies jurassiques qui viennent en contact avec le Crétacé renversé. Tous les indices semblent montrer que la pénétration du Crétacé est de moins en moins profonde; une évaluation précise est impossible, mais on sait que cette pénétration devient même nulle près du tunnel de la Nerthe.

Ainsi, l'étude du bord du bassin crétacé nous apprend qu'il y a, à partir d'Auriol, un pli couché, continu malgré l'irrégularité des coupes successives, et se renversant vers le nord sur le bassin de Fuveau. Ce pli n'a pas de continuation vers l'est; à l'ouest, il s'étend très loin en se relevant progressivement. Sur son parcours, et quoiqu'il corresponde bien évidemment à un seul phénomène général de transport vers le nord, on peut y distinguer trois parties bien distinctes, le massif d'Auriol, celui de Peipin et celui de l'Étoile. Le premier ne montre que des dolomies jurassiques très développées; le second montre tous les étages jurassiques très irrégulièrement étirés, et plongeant très rapidement sous l'Urgonien; le troisième, au contraire, montre la série jurassique très complète, et s'inclinant doucement vers le sud.

Structure générale du massif d'Allauch.

C'est en arrière des deux premiers massifs que s'observent les complications du massif d'Allauch, dont l'étude, tout en laissant subsister de sérieuses difficultés, pourra nous fournir quelques nouvelles données sur l'importance et sur les conséquences des déplacements horizontaux.

Apparence tranquille et régulière des plateaux dont il est formé.

Le massif d'Allauch est formé, dans sa partie principale, par un vaste plateau de forme triangulaire, découpé de toutes parts par des ravins profonds. Au point de vue géologique, il est formé surtout par les calcaires du Néocomien inférieur, dont les assises peu inclinées se dressent, comme des murailles abruptes, au milieu des dépressions pauvrement cultivées qui l'entourent. Une ligne de collines plus élevées dessine en quelque sorte l'axe du plateau, et montre les calcaires à Hippurites superposés aux masses précédentes; les Hippurites se retrouvent auprès d'Allauch, sur le versant sud-ouest, dont la composition est un peu plus compliquée.

Bande étroite de Trias et d'Infralias qui forme ceinture au plateau.

Ce plateau, aux apparences si tranquilles dans son ensemble, est entouré d'une manière presque continue par une bande de marnes triasiques, presque partout très étroite et même, sur plusieurs kilomètres, ne présentant qu'une largeur de quelques mètres. Cette bande s'épanouit seulement au nord, autour de Pichauris, où elle est accompagnée et continuée par l'Infralias; cet Infralias se relie à celui du pli de l'Étoile et de la Nerthe. De l'autre côté de la bande triasique et de cette sorte de fossé de circonvallation qu'elle forme au plateau, on trouve en plusieurs points le Jurassique, mais en d'autres, dans ceux-là même où la bande est le plus étroite, on retrouve directement le Crétacé, si bien que le Trias présente les apparences d'un *filon intercalé dans les assises crétacées*.

Enfin, en avant de la pointe septentrionale du plateau, vers le point où le Trias de l'ouest, élargi autour de Pichauris, va rejoindre le Trias de l'est, au contraire aminci et supprimé par places, entre les deux s'intercale un promontoire de calcaires à Hippurites et de calcaires aptiens, dont la présence en ce point semble d'autant plus bizarre qu'aucune couche aptienne n'entre dans la composition du plateau.

Cette bande s'élargit au nord, et va rejoindre celle qui forme la retombée du pli de l'Étoile.

Un second triangle de calcaires à Hippurites occupe, un peu plus au sud-ouest, une place analogue au pied du plateau. Il est facile de voir que ces lambeaux de calcaires à Hippurites se rattachent à ceux qui dominent le plateau, et qu'une faille d'affaissement, postérieure à tous les autres accidents, les a ramenés à un niveau inférieur; ces lambeaux complètent, avec le massif central, une sorte de large îlot crétacé, complètement isolé au milieu de terrains beaucoup plus anciens.

Le point capital à noter dès le début, c'est que ces terrains plus anciens se relient en parfaite continuité, et sans accident secondaire, avec l'Infralias du massif de Peipin; ils font donc partie de la retombée du pli de l'Étoile, de Peipin et d'Auriol, c'est-à-dire du pli que nous venons de définir comme se renversant sur le bassin de Fuveau. Cette retombée, au lieu d'être régulière comme à l'ouest, se creuse ici d'un grand trou qui laisse apparaître le Crétacé. Ce Crétacé est-il tombé dans le trou? Autrement dit, faisait-il partie de masses superposées normalement au Jurassique? Ou bien, au contraire, ce Crétacé apparaît-il parce que le Jurassique qui le recouvrait a été enlevé par dénudation? Y a-t-il eu enfouissement de terrains supérieurs ou mise au jour de terrains inférieurs? Telle est la double question que nous allons examiner.

La bande triasique correspond à l'affleurement d'un pli anticlinal, partout couché vers le massif qu'elle entoure.

Je m'occuperai d'abord de la bande triasique qui fait le tour du massif, et qui constitue évidemment le trait le plus saillant de cette structure exceptionnelle. C'est au sud qu'on peut le mieux en saisir la signification, et reconnaître qu'elle correspond à l'affleurement d'*un pli anticlinal couché vers le massif néocomien*.

Près d'Allauch, en effet, dans la colline de la chapelle et dans celles qui font suite à l'est, on voit le Néocomien plonger vers le sud, c'est-à-dire vers le Trias,

dont de nombreuses exploitations de gypse marquent la place. En suivant au nord-est le sentier qui monte au Jas de Moulet, on rencontre successivement l'Urgonien, qui plonge sous le Néocomien, et le Turonien, à *Biradiolites cornu-pastoris*, qui plonge à son tour sous l'Urgonien. La série est donc renversée. Plus au nord, dans le Baou Rouge, le Turonien supporte normalement les couches à Hippurites sénoniennes. Le recourbement des couches turoniennes, correspondant à une charnière synclinale, a donc lieu dans le vallon même qui longe au sud le Baou Rouge (*fig.* 47).

Sur le bord même du massif, le Néocomien inférieur supporte des calcaires blancs avec dolomies intercalées, qui ressemblent aux calcaires du Jurassique

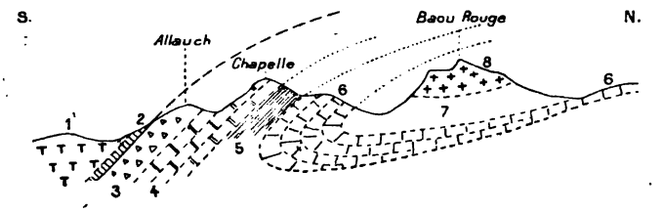


FIG. 47. — Coupe des collines d'Allauch.

1. Marnes irisées; 2. Infralias; 3. Jurassique supérieur; 4. Néocomien inférieur; 5. Néocomien supérieur; 6. Urgonien; 7. Turonien; 8. Sénonien.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000 environ.

supérieur, et, en suivant le contact de ces calcaires avec le Trias, on voit sous le village des grès et marnes infraliasiques, avec lits de bone bed, qui s'enfoncent sous les Marnes irisées gypsifères. On a donc, là, nettement affaire à un pli anticlinal, dont le centre est formé par le Trias et sur le flanc renversé duquel la presque totalité du Jurassique est supprimée. Les terrains tertiaires qui s'étendent de là jusqu'à Marseille ne permettent pas de voir comment se fait la retombée méridionale, ou retombée normale, du pli. On peut seulement présumer, d'après l'existence du massif triasique des Camoins, que le Trias, au lieu de s'enfoncer rapidement en profondeur, s'étale en assez larges ondulations.

Au château de Carlevan, c'est-à-dire 1^{km} à peine plus à l'est, on voit apparaître, au pied du massif, les dolomies jurassiques, toujours avec le même pendage sud; elles sont presque en contact avec la continuation amincie et froissée du Néocomien d'Allauch; il semble donc, d'abord, que ce soit un commencement de réapparition des couches intermédiaires du flanc renversé. Mais le pendage de ces dolomies est au contraire normal; elles plongent sous l'Urgonien et sous l'Aptien, qui affleure près de Montespin. Et, en effet, on peut constater qu'une étroite traînée de Trias, sous forme de cargneules et de marnes rouges, sépare ces dolomies de la série renversée; celle-ci se réduit bientôt à l'Urgonien et au Turonien. La coupe devient donc celle de la figure ci-jointe (*fig.* 48). La superposition du Trias à l'Urgonien est bien visible au col qui sépare en deux

versants distincts la petite dépression cultivée de Trias; une ondulation des couches urgoniennes, en général assez inclinées vers le sud, les a amenées localement à une position presque horizontale. Au col même, un de ces bancs horizontaux sert de base à un mur de clôture, contre lequel s'appuient les marnes triasiques.

Étirements considérables sur les deux flancs de ce pli anticlinal.

La colline de Carlevan montre donc la retombée méridionale du pli d'Allauch, et elle permet de constater que sur cette retombée la série est presque aussi réduite et presque aussi incomplète que sur le flanc renversé. Une masse peu puissante de dolomies y représente seule le Jurassique, et cet étirement simul-

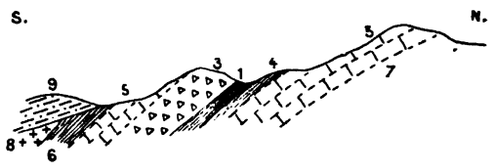


Fig. 48. — Coupe à l'est de Carlevan.

1. Trias; 3. Jurassique supérieur; 4. Néocomien; 5. Urgonien; 6. Aptien; 7. Turonien; 8. Sénonien; 9. Tertiaire discordant.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000 environ.

tané des deux flancs produit l'apparence, déjà signalée au-dessus de Cuges, d'une bande triasique, étroite et continue, isolée au milieu de terrains plus récents.

Comme le Trias, plus largement étalé, des collines de Camoins et des Acates se poursuit au sud de cette coupe, il faut en conclure que le Jurassique et l'Urgonien de Carlevan ne sont que le bord d'une cuvette synclinale secondaire, moins profonde du côté d'Allauch, où elle aurait été complètement vidée de son remplissage jurassique et crétacé.

Continuation du pli anticlinal sur tout le versant sud du massif.

A partir de la Treille et des Belloms, la série renversée disparaît complètement; elle est interrompue par une faille de décrochement transversal, qui, dirigée presque normalement au pli, ramène sur le bord du massif, au lieu de l'Urgonien renversé, le Néocomien presque horizontal et en stratification normale. La bande triasique est rejetée brusquement de 1^{km} vers le sud; mais, là, elle reprend avec la même allure en se dirigeant vers Aubagne. L'Infralias se substitue d'abord aux Marnes irisées; plus loin, les deux étages coexistent, mais l'ensemble continue à former une traînée sinueuse entre les escarpements rocheux du nord et les collines boisées du sud. Ces dernières, près de la Treille, sont uniquement urgoniennes; mais bientôt les dolomies jurassiques s'intercalent de nouveau et la retombée, ainsi complétée, va même à Chapelette jusqu'au Cénomanien et aux couches à Hippurites. La coupe (*fig.* 49) diffère de la précédente parce que ce sont, au nord, des couches normalement stratifiées qui plongent en réalité sous le Trias et semblent buter contre lui. Le rattache-

ment au pli d'Allauch, malgré l'interruption causée par la faille de décrochement, n'est pas douteux; mais cette partie, considérée isolément, ne permettrait guère de conclure à l'existence d'un pli.

Il en serait de même à plus forte raison au Jas de Fontainebleau, où le Néocomien est séparé du Trias par des marnes et des calcaires aptiens, inclinés dans

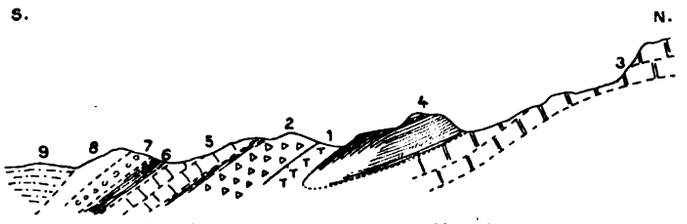


FIG. 49. — Coupe passant par Chapelette.

1. Trias;
2. Jurassique supérieur;
3. Néocomien inférieur;
4. Néocomien supérieur;
5. Urgonien;
6. Aptien;
7. Cénomanien;
8. Turonien;
9. Tertiaire.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000 environ.

le même sens; quelques bancs d'Urgonien intercalés les rattachent d'abord nettement à la série septentrionale; mais bientôt cet Urgonien disparaît; les marnes néocomiennes à Spatangues s'amincissent et s'étranglent également,

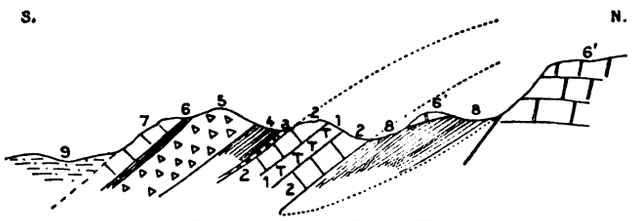


FIG. 50. — Coupe à l'est du Jas de Fontainebleau.

1. Trias;
2. Infralias;
3. Lias et Bajocien;
4. Bathonien;
5. Dolomies jurassiques;
6. Néocomien;
6'. Néocomien inférieur;
7. Urgonien;
8. Aptien;
9. Tertiaire.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000 environ.

pendant que l'Aptien, au contraire, se développe. Le Néocomien calcaire du massif prend de plus en plus l'aspect d'une muraille abrupte, au pied de laquelle bute l'Aptien; et ainsi, tandis que, par suite de l'éloignement momentané de la bande triasique et du massif qu'elle entoure, on devrait s'attendre à voir s'intercaler entre eux la série des terrains intermédiaires, ce sont, au contraire, des terrains plus récents qui s'intercalent et paraissent s'opposer à la reconstitution du pli (*fig.* 50). Mais là, par contre, la bande triasique élargie présente une disposition anticlinale bien marquée : les Marnes irisées, au centre, reposent sur les lumachelles à *Avicula contorta,* elles-mêmes superposées aux dolomies

Existence d'un synclinal écrasé entre ce pli et le massif.

infraliasiques, et de l'autre côté l'Infralias, le Lias, le Bajocien et le Bathonien se succèdent en série normale (*fig.* 50). Sur près de 2^{km} de long, la retombée méridionale du pli est ainsi presque complète et permet, malgré l'amincissement de quelques couches, d'observer tous les étages jurassiques, dans leur ordre régulier et avec leurs fossiles caractéristiques. Nous avons donc là, de nouveau, la preuve de l'existence d'un pli anticlinal couché vers le massif, ainsi que la continuité nous le faisait prévoir; une bande d'Aptien représente seule la place du synclinal qui l'accompagne. Avant d'arriver à Font de Mai, quelques lambeaux de calcaire néocomien et une bande continue de dolomies jurassiques se montrent entre l'Aptien et l'Infralias, et confirment l'interprétation.

L'étirement de tous les éléments du pli s'exagère, à l'endroit où il se contourne autour de l'angle sud-est du massif.

A Font de Mai, la bande triasique change brusquement de direction et se détourne vers le nord; en même temps, elle s'amincit jusqu'au point de n'être plus qu'une traînée filiforme, de quelques mètres de largeur, jalonnée seulement par les débris de cargneules qui remplissent les champs. En outre, par un phénomène bien curieux, toute la retombée jurassique disparaît, ou du moins n'est plus représentée que par des lambeaux discontinus de Bajocien et de Bathonien; l'Urgonien d'abord, puis le Cénomanien, puis même, près des Artusets, le Turonien viennent en contact direct avec le Trias. Un peu plus au nord, le Crétacé inférieur reparaît, terme par terme; aux Gavots, le Jurassique s'intercale à son tour et devient même presque complet au pied de Garlaban, mais il subit ensuite un nouvel étranglement; l'Urgonien, l'Aptien et le Cénomanien forment presque seuls la retombée en face des Manaux. C'est seulement à Lascours que la série jurassique reprend son développement ordinaire.

Du côté de l'est, les étirements persistent en s'atténuant dans la retombée extérieure ou orientale; mais le flanc ouest et le synclinal intermédiaire sont représentés par une déchirure nette, une vraie faille.

Sur toute cette longueur, l'étroite traînée de Trias se continue, avec des largeurs variant de 50^{m} à 200^{m}, et au nord de Lascours elle amène même au jour les calcaires noirs du Muschelkalk. La disposition anticlinale n'y est plus visible; le Trias bute par une faille incontestable contre la falaise néocomienne, qui se dresse uniformément au-dessus de lui avec ses assises à peu près horizontales. Quand le Muschelkalk apparaît, ce n'est pas au centre de la bande, c'est au contraire au pied de la falaise, contre laquelle il s'appuie pour plonger régulièrement à l'est sous la série jurassique (*fig.* 51).

Quelle que soit la signification de cette faille, qui substitue là une cassure nette aux suppressions intermittentes d'étages constatées plus à l'ouest, il est certain que la bande triasique représente, ici encore, le noyau plus ou moins écrasé du même pli anticlinal. Si la continuité de cette bande ne semblait pas un argument suffisant, la continuité des phénomènes d'étirement qui l'accompagnent à l'est ne permet pas d'autre interprétation. La faille tient, par conséquent, la place du pli synclinal décrit précédemment au Baou Rouge et représenté un moment par la traînée aptienne isolée entre le Jas de Fontainebleau et les Gavots.

Quoique ce pli synclinal ait ainsi disparu, on n'en peut pas moins montrer

La coupe de Garlaban montre que le pli continuait à être couché vers le massif.

que, dans cette partie encore, le *pli anticlinal était couché vers le massif d'Allauch*. C'est ce qu'indique l'étude du Pic de Garlaban (*fig.* 52). C'est un piton isolé, à forme massive, qui se dresse au-dessus du plateau des calcaires néocomiens, sur le bord même de la plaine d'Aubagne. Quand on l'aborde du

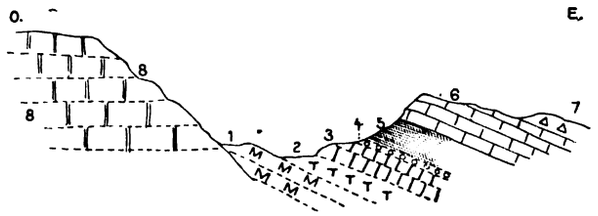


FIG. 51. — Coupe au nord de Lascours.

1. Muschelkalk; 2. Marnes irisées; 3. Infralias; 4. Lias; 5. Bathonien; 6. Oxfordien; 7. Dolomies supérieures; 8. Néocomien inférieur.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000 environ.

nord, de l'ouest ou du sud, on trouve à ses pieds, comme on doit s'y attendre, les marnes néocomiennes à Spatangues; mais le sommet, au lieu d'être formé par des étages plus récents, l'est de nouveau par les calcaires gris du plateau,

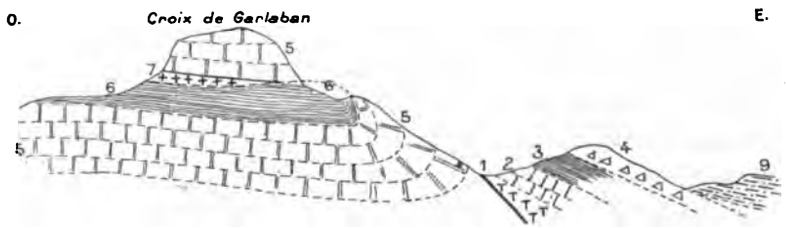


FIG. 52. — Coupe du Pic de Garlaban.

1. Trias; 2. Lias; 3. Bathonien; 4. Dolomies jurassiques; 5. Néocomien inférieur; 6. Néocomien supérieur; 7. Sénonien; 9. Tertiaire.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000 environ.

c'est-à-dire par le Néocomien *inférieur* qui se trouve ainsi *superposé au Néocomien supérieur*. Entre les deux s'intercalent même, sur la moitié du pourtour, les calcaires roux du Sénonien inférieur. La petite grotte qui s'ouvre à l'est donne un bel exemple des froissements et laminages produits dans les marnes par ces mouvements anormaux. Le Néocomien et le Sénonien manquent au sud-est; c'est donc de ce côté qu'est venu le recouvrement, le *chapeau* néocomien, comme le prouve encore le brusque redressement vertical des calcaires sur la pente. Que ce recouvrement vienne d'un pli secondaire, dont je n'ai pu constater le prolongement ni vers le nord, ni vers le sud, ou qu'il vienne du pli périphérique dont la bande triasique suivie précédemment formerait le noyau,

il montre en tout cas qu'à l'est comme au sud, il y a eu poussée vers le massif crétacé d'Allauch et tendance des terrains plus anciens à se renverser sur lui.

Ainsi, pour résumer cette première partie, une bande triasique ayant nettement au sud les allures d'un pli anticlinal, décrit un demi-cercle autour du plateau, avec tendance plus ou moins marquée à le recouvrir de couches plus anciennes. Du côté opposé, ce Trias s'enfonce sous une cuvette crétacée, à bords très fortement et très irrégulièrement étirés, qui, de Carlevan à Roquevaire, dessine un nouveau demi-cercle concentrique au précédent.

La continuation du pli jusqu'au carrefour du Terme, au bord du bassin de Fuveau, n'est marquée que par la continuation de la même faille.

Nous arrivons ainsi à la pointe nord du massif; cette pointe est comprise entre deux failles : l'une à l'est, celle que nous venons d'étudier et qui sépare le Néocomien du Trias; l'autre qui se dirige au sud-ouest vers Allauch et met la falaise néocomienne en contact avec les calcaires à Hippurites. Mais cette dernière se continue vers l'est sans interruption, et sur tout son parcours elle ne produit d'autre effet que d'abaisser sa lèvre septentrionale. C'est un accident d'un autre ordre, qui n'a d'autre effet que de rejeter légèrement vers l'ouest notre pli, ou mieux notre demi-pli anticlinal. Cet accident a une grande importance dans la détermination du relief et des formes orographiques; mais, au point de vue de l'étude géologique, il convient d'en faire abstraction. Le Trias, ou au moins le Lias, continue à border le promontoire de Crétacé supérieur, comme il bordait la falaise néocomienne; il continue à plonger, au nord-est d'abord, puis au nord, sous des falaises jurassiques et sous le bassin urgonien de Peipin, continuation du bassin urgonien de Roquevaire. De plus, du côté de ce bassin, on constate toujours, dans la retombée jurassique, les mêmes phénomènes d'étirements et de suppressions de couches, que nous avons suivis depuis Allauch jusqu'à Lascours.

Quand on arrive à l'extrémité du promontoire crétacé, rien n'est modifié dans les allures de cette bande ni dans son pendage : la muraille formée par les calcaires du Jurassique supérieur se continue dans la même direction jusqu'au carrefour du Terme, en haut de la montée de la grande route de Marseille à Aix; mais l'Infralias et le Trias sur lesquels elle repose s'étendent bien loin vers le sud, en enveloppant tout le promontoire crétacé.

Ce promontoire qui, comme je l'ai dit, n'est qu'une continuation affaissée du massif d'Allauch, auquel il se rattache par sa base méridionale, se trouve ainsi sur les trois autres côtés entouré et enveloppé par le Trias (ou par l'Infralias). Ce Trias plonge de toutes parts sous le Jurassique, comme cela aurait lieu si la place du promontoire était occupée par un pointement de terrains plus anciens. Les affleurements des étages successifs, celui des couches à *Avicula contorta,* celui des dolomies infraliasiques, celui des calcaires à silex, dessinent tout autour une série de bandes régulières et concentriques; aucun accident, faille, pli ou même ondulation des couches, ne continue dans cette bande jurassique la direction des affleurements crétacés.

Ainsi la bande étroite de Trias qui entoure le massif d'Allauch, au sud et à l'est, s'épanouit brusquement au nord auprès de Pichauris, en enveloppant le cap crétacé qui prolonge et termine ce massif. La cuvette crétacée qui, concentriquement à ce Trias, formait une seconde ceinture au massif, se continue au nord (bassin urgonien de Peipin); mais là, elle s'arrête, tandis que le Trias, réduit de nouveau à une bande étroite, continue à border, après une courte interruption, le dernier côté du massif.

Pour bien comprendre la portée et la signification de cette disposition singulière, il convient de revenir à Allauch et de décrire à son tour le versant nord-ouest du plateau crétacé.

Versant septentrional (nord-ouest) du massif d'Allauch.

Bien que la structure de ce côté soit, au fond, très semblable à celle de l'autre versant, l'aspect général est très différent, parce que la bande triasique, plus réduite et plus isolée, n'étant pas non plus accompagnée du cortège de terrains variés qu'amenait au jour l'étirement des flancs, joue un rôle à peu près insignifiant dans l'ensemble du relief. A cause du pendage, déjà signalé, des couches du plateau vers Allauch, la falaise néocomienne ne commence à se montrer et à s'accentuer qu'à partir du Jas de Palenchon; mais, de là, elle continue ininterrompue jusqu'à l'angle septentrional, où elle rejoint la falaise de l'est. Il y a là deux parties à considérer, l'une à l'ouest, l'autre à l'est du grand ravin des Maurins.

Réduction de la bande triasique à une simple allée de quelques mètres de largeur.

Dans la première, où la falaise est moins accentuée, on trouve à son pied, vers le nord, une série de collines calcaires dénudées, formées d'abord par les calcaires à Hippurites, et plus loin par les calcaires urgoniens. Entre les deux il existe non pas même une bande, mais une *allée* de Trias, large de 10^{m} à peine, mais parfaitement continue et partiellement cultivée. Cette ligne de Trias aboutit au sud contre le bassin tertiaire; mais les deux lambeaux d'Infralias fossilifère qu'on retrouve sur la route du Logis-Neuf et sous les premières maisons d'Allauch, montrent clairement qu'elle s'infléchit vers le sud pour rejoindre l'affleurement plus large des Marnes irisées au sud du village, et, par conséquent, *pour rejoindre le pli anticlinal déjà suivi sur les autres versants du massif*. On est donc déjà amené, par continuité, à présumer que la signification doit en être la même, et que ce liséré de Marnes irisées marque la continuation du pli étudié précédemment. Les observations de détail confirment cette conclusion.

En premier lieu, les calcaires à Hippurites correspondent à ceux du Baou Rouge, ou du moins au même pli synclinal. Ils en sont séparés, il est vrai, par une faille, celle-là même qui borde plus loin la falaise, et dont j'ai signalé le rôle, comme faille d'affaissement; elle est ici remplie par un large filon de calcite cristallisée. La pointe méridionale de ce petit massif de calcaires à Hippurites reproduit la série décrite sous le village d'Allauch, le Turonien, le Néocomien à Spatangues et le Néocomien inférieur s'y succédant en strati-

Décrochement horizontal près d'Allauch.

fication renversée; ce sont les mêmes étages, avec le même pendage, mais reportés 1^{km} plus au nord. Ce déplacement horizontal pourrait faire croire d'abord à une faille de décrochement; mais, vu la faible inclinaison des assises, il s'explique aussi bien par un affaissement. L'Infralias se montre sous les premières maisons, près de l'église, et, de ce côté comme de l'autre, il est superposé au Crétacé. On est donc bien en présence de la continuation du pli d'Allauch, légèrement rejeté par la faille, et de plus assez brusquement dévié vers le nord. A cette torsion brusque du pli correspond la même exagération des phénomènes d'étirement que nous avons déjà notée à l'angle oriental du massif. Les termes intermédiaires du Crétacé inférieur disparaissent, et le Trias se trouve en contact avec les couches à Hippurites. Dans le ravin, près des Cadets, on peut voir de quelle manière se fait le contact, bien mis à nu dans la berge : les bancs à Hippurites plongent en concordance sous le Trias avec un angle de 25° environ (*fig.* 53). De l'autre côté du Trias, on trouve le Néoco-

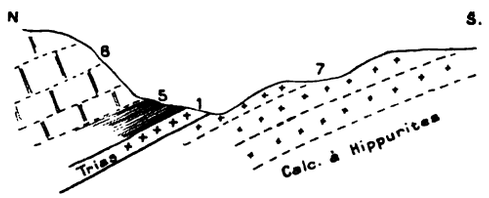


FIG. 53. — Coupe du Ravin des Cadets.

1. Trias; 5. Néocomien; 6. Urgonien; 7. Sénonien.

mien plongeant sous l'Urgonien; mais il semble que, de ce côté, le contact se fasse par une faille à peu près verticale, dont je chercherai tout à l'heure à préciser la signification. Il n'y a pas, en tout cas, sur ce bord du massif, une cuvette synclinale spéciale, accompagnant extérieurement, comme des autres côtés, la bande triasique; l'Urgonien, contre lequel elle bute à l'ouest, appartient à la retombée du pli de l'Étoile, dirigé de l'est à l'ouest. L'analogie avec les versants précédemment décrits se borne donc à l'existence de la ceinture triasique et à son renversement sur le massif (1).

Suppression de la bande de Trias elle-même sur quelques centaines de mètres.

Au delà du ravin des Maurins, les couches à Hippurites, le Trias et même le Néocomien s'étranglent successivement contre la faille d'affaissement, et l'Urgonien vient un moment en contact avec la falaise néocomienne du plateau;

(1) Ce sont bien là aussi les deux traits les plus importants et les plus caractéristiques. Il ne peut guère y avoir de doute sur l'homologie du rôle et de la signification des bandes triasiques ainsi semblablement placées, et répétant si exactement les mêmes particularités de structure. L'interruption dans les affleurements causée par les terrains tertiaires n'est que de quelques centaines de mètres, et dans cet intervalle les terrains restés observables se contournent parallèlement à la ligne virtuelle de raccordement. Tout concourt donc à légitimer la conclusion

mais ce contact n'a lieu que sur quelques centaines de mètres, et il serait même possible que le liséré de marnes néocomiennes, masqué sous une épaisse végétation de ronces et de buissons, fût en réalité continu. En tout cas, ses affleurements sont de nouveau bien visibles au col du chemin qui va de Pichauris aux Maurins ; on les voit alors se recourber vers l'ouest, et l'on peut les suivre sur tout le versant de la montagne de l'Étoile. L'Infralias et le Trias reparaissent presque en même temps et vont s'épanouir au nord-est dans les collines de Pichauris; et entre les deux, comme si avec ce retour à la direction E.-O. on était arrivé à la fin des anomalies, on voit s'intercaler progressivement tous les termes de la série jurassique normale. Le Lias et le Bajocien reparaissent les derniers, auprès de l'auberge de Pichauris.

Sa réapparition sous forme de pli anticlinal, avec retombée jurassique complète, du côté opposé au massif.

Le Trias de Pichauris est celui que nous avons déjà rencontré, à la fin de la description de la bordure orientale : *il ferme donc le coude* de la ceinture triasique. Cette ceinture, on le voit, n'est interrompue qu'en deux points; la première interruption, auprès d'Allauch, est sans importance, et due seulement à l'invasion transgressive des couches tertiaires. La seconde, de 500^{m} environ, entre le triangle des Cadets et celui de Pichauris, s'explique par un écrasement momentané contre la faille qui sépare la région étudiée du pli de l'Étoile.

Le Trias de Pichauris présente, d'ailleurs, le même trait caractéristique dans

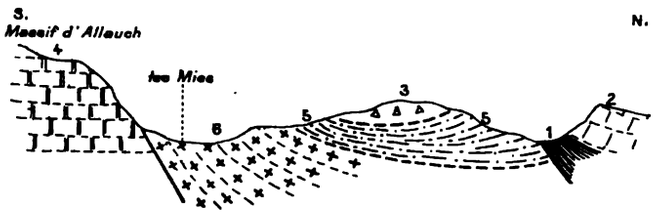


Fig. 54. — Coupe passant par les Mies.

1. Bathonien; 2. Oxfordien; 3. Dolomies jurassiques; 4. Néocomien inférieur; 5. Aptien; 6. Calcaires à Hippurites.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000 environ.

sa structure : il se renverse sur le massif crétacé des Mies, c'est-à-dire sur le promontoire, affaissé comme les couches à Hippurites des Cadets, qui prolonge au nord le massif d'Allauch. Le renversement est là particulièrement intéressant, parce qu'une partie des termes intermédiaires ont été conservés entre le Trias et le Crétacé.

Promontoire crétacé des Mies.

---

annoncée : le Trias du sud d'Allauch se contourne vers le nord pour envelopper le massif du côté de l'ouest; mais là, il se trouve étranglé entre la retombée du pli de l'Étoile et le massif, ou pour mieux dire, entre cette retombée et le triangle des Cadets, dépendance affaissée du massif. L'allure anticlinale, si nette au sud, n'est plus de ce côté qu'hypothétique, mais *le Trias continue toujours à se renverser vers le massif.*

L'Aptien plonge sous la colline triasique de Pichauris. Liséré de terrains intermédiaires renversés.

Vers le centre des affleurements triasiques se dresse un mamelon arrondi (cote 625) présentant à peu près la forme d'un cône volcanique, mais constitué par des Marnes irisées horizontales, que surmonte l'Infralias à *Avicula contorta*. Un ravin profond en entame les bancs, à l'est, bien au-dessous du niveau du petit plateau qui des autres côtés borde la colline. Le plateau lui-même est formé par l'Infralias et, en descendant l'escarpement, on trouve au-dessous de cet Infralias 2^m environ de calcaires à silex avec fossiles liasiques, quelques calcaires marneux avec Ammonites bathoniennes, et enfin, d'une manière intermittente, des dolomies et des calcaires blancs qui s'élèvent doucement vers l'est et vont former chapeau au sommet des collines crétacées des Mies. Dans le fond du ravin affleure l'Aptien, qui plonge sous cette série renversée. La série renversée, avec des épaisseurs variables, montrant tantôt les uns, tantôt les autres de ces étages réduits, peut se suivre sur le bord de l'Aptien pendant 2^{km} environ, tant que la limite est dirigée du sud au nord ; quand cette limite commence à se retourner vers l'est, on voit encore l'Aptien plonger sous l'Infralias, mais les bancs intermédiaires disparaissent (il y a encore 20^m de calcaires blancs au point le plus septentrional). Il résulte bien nettement de ces faits que l'Aptien s'enfonce à l'ouest sous le Trias, avec tous les phénomènes de renversement et d'étirement qui sont l'accompagnement ordinaire d'un pli couché.

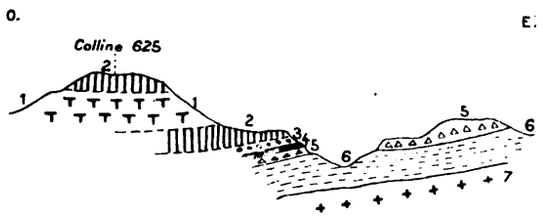


FIG. 55. — Coupe du flanc est de la colline de Pichauris.

1. Trias; 2. Infralias; 3. Lias; 4. Bathonien; 5. Jurassique supérieur; 6. Aptien; 7. Sénonien.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000 environ.

La structure du promontoire crétacé des Mies est d'ailleurs bien conforme à cette conclusion : c'est celle d'un pli synclinal couché ; au sud, on trouve la série complète du Cénomanien au Sénonien supérieur, régulièrement inclinée vers le nord-ouest. Au-dessus de ces termes vient l'Aptien réduit, puis le chapeau de dolomies jurassiques, déjà mentionné. Puis, sur l'autre versant, au nord, se développe une grande masse de calcaires siliceux (Aptien et Gault), avec calcaires marneux à Ancylocères à la base. C'est la coupe donnée (*fig.* 55).

Cette coupe montre le pli synclinal se fermant vers le nord ; on doit se demander maintenant comment il se ferme vers l'ouest, sous le Trias de Pichauris, ou, en d'autres termes, jusqu'à quelle distance le Crétacé pénètre sous la

colline 625. Or, il est facile de constater que les Marnes irisées qui constituent cette colline, de même qu'elles reposent à l'est sur la série jurassique renversée, reposent aussi à l'ouest sur l'Infralias. La coupe est très nette en suivant le chemin de la ferme de Pichauris à l'auberge : toutes les couches pendent à

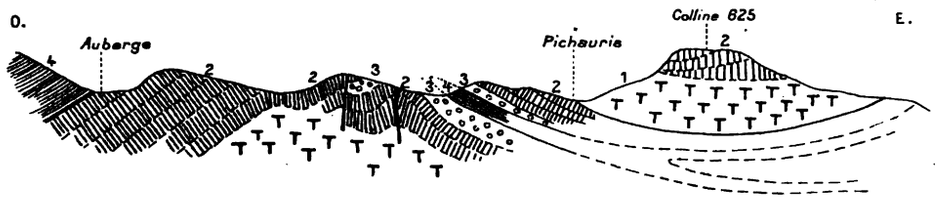


FIG. 56. — Coupe du chemin de l'Auberge à Pichauris.

1. Trias; 2. Infralias; 3. Lias; 4. Bathonien.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000 environ.

l'est; l'Infralias s'enfonce sous le Trias; puis le Lias, le Bajocien et le Bathonien marneux à *Cancellophycus* s'enfoncent à leur tour sous l'Infralias; la série régulière reprend ensuite (*fig.* 56).

Il faut donc en conclure que la colline 625, malgré son apparence d'absolue régularité, présente une structure en éventail (*fig.* 57), ou bien admettre que

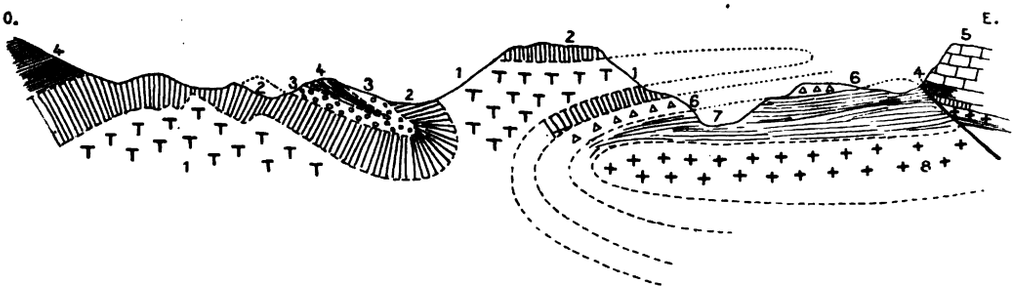


FIG. 57. — Essai d'interprétation de la structure des collines de Pichauris.

1. Trias; 2. Infralias; 3. Lias; 4. Bathonien; 5. Oxfordien; 6. Dolomies supérieures; 7. Aptien; 8. Calcaires à Hippurites.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000 environ.

l'Infralias de l'est se relie en profondeur à celui de l'ouest et sert de substratum à toute la colline. Dans cette seconde hypothèse, l'extrémité du pli synclinal couché aurait dépassé l'horizontale. Mais, en tout cas, dans une interprétation comme dans l'autre, la pénétration du Crétacé dans le Trias s'arrêterait sous la colline 625. C'est là une conclusion intéressante à retenir.

Ainsi la bande périphérique de Trias, très développée à Pichauris, y prend de nouveau l'allure d'un pli anticlinal couché, avec un chevauchement qui dépasse 2^{km}. Et si l'on cherche la continuation de ce pli, on n'en trouve pas d'autre

Relations avec le pli de l'Etoile.

que la bande périphérique elle-même. Les relations possibles avec le pli de l'Étoile, il est vrai, sont obscurcies par deux failles transversales qui semblent jouer le rôle de failles de décrochement, et qui séparent l'un de l'autre ces deux massifs, dont la structure est en tout cas complètement différente, comme s'ils

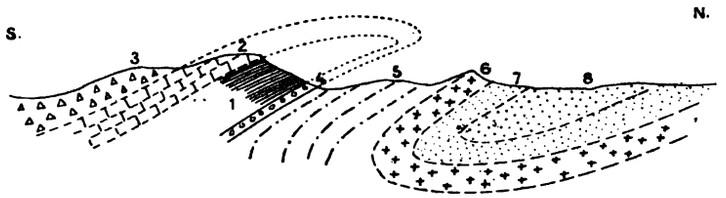


FIG. 58. — Coupe du bord méridional du bassin de Fuveau près de Saint-Savournin.

1. Bathonien; 2. Oxfordien; 3. Dolomies jurassiques; 4. Calcaires blancs; 5. Aptien et Gault; 6. Calcaires à Hippurites; 7 et 8. Couches de Fuveau.

Échelle des longueurs = 1 : 10 000 environ.

avaient résisté d'une manière indépendante aux actions de refoulement : le long de la plus importante de ces deux failles, celle que nous avons déjà constatée près du Terme (faille Doria), la même sans doute que celle qui limite à l'ouest le liséré triasique des Cadets, on constate une série de lambeaux liasiques et bathoniens qui la jalonnent et qui semblent au moins diminuer la probabilité d'un raccordement souterrain des deux anticlinaux. D'ailleurs, nous avons vu

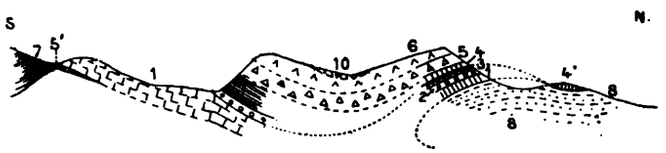


FIG. 59. — Coupe des collines de Peipin.

1. Infralias; 2. Lias; 3. Bathonien; 4. Oxfordien; 4'. Blocs oxfordiens; 5. Dolomies jurassiques; 5'. Calcaires blancs; 6. Urgonien; 7. Aptien; 8. Couches de Fuveau; 10. Poudingues oligocènes (discordants).

Échelle des longueurs = 1 : 40 000 environ.

que le pli de l'Étoile doit déjà se raccorder avec le pli de Peipin. Une bifurcation du pli serait une pure hypothèse, qui serait plutôt en contradiction avec les données de l'observation.

Le Trias a dû recouvrir tout le massif d'Allauch.

Ainsi, il est démontré que les calcaires à Hippurites des Mies, et l'Aptien qui les accompagne, s'enfoncent sous les collines triasiques de Pichauris, et qu'ils forment le fond d'un pli couché dont la charnière synclinale passe sous la colline 625.

Ce pli couché a recouvert de dolomies jurassiques toute la largeur du promontoire des Mies, et l'Infralias superposé à ces dolomies se raccorde en nappe continue avec celui qui borde au nord-est ce même promontoire. La consé-

quence immédiate est que l'Infralias a recouvert tout le promontoire et, par suite aussi, tout le massif d'Allauch. Le raccordement de ces masses de recouvrement, telles qu'on peut les reconstituer, avec les affleurements de la bordure orientale, n'est pas, il est vrai, très satisfaisant; il faut supposer une faille, et il est singulier que l'affleurement de cette faille ne s'écarte nulle part de la limite du Jurassique et du Crétacé, qu'elle ne se prolonge pas dans sa direction première, quand cette limite s'infléchit vers le sud. Il faut admettre qu'elle diminue d'amplitude et se réduit à zéro avant cette inflexion.

Malgré cette légère difficulté, suivons les conséquences de notre hypothèse : la bande de Trias qui suit le bord du massif crétacé, en se renversant vers lui, n'est que le reste d'une nappe continue qui a recouvert tout le massif, et, par conséquent, les terrains crétacés d'Allauch s'enfoncent de toutes parts, plus ou moins profondément, sous les terrains plus anciens qui les entourent. La limite de pénétration marque la charnière synclinale du pli qui a produit ces mouvements, et l'on peut essayer de la reconstituer. Nous en avons déterminé un point, sous la colline 625; il faut, de là, qu'elle aille rejoindre vers le nord-ouest la charnière synclinale du pli de l'Étoile et vers le sud celle du pli d'Allauch, et, par conséquent, qu'elle suive d'assez près, de ce côté, l'affleurement des terrains crétacés. En d'autres termes, à partir de Saint-Savournin, elle s'avancerait profondément vers le sud, en dessinant une vaste courbe ouverte vers le nord-est.

A l'angle sud-est du massif, la bande aptienne de Font de Mai nous montre que la charnière synclinale s'infléchit de nouveau vers le nord. Du côté de l'est, on pourrait songer à faire se raccorder souterrainement le Crétacé d'Allauch avec celui du Plan d'Aups; mais l'un s'enfonce sous le Trias de la vallée de l'Huveaune, et l'autre est superposé à ce Trias. Il faut donc que la charnière synclinale suive là encore, de plus ou moins près, les lignes d'affleurements crétacés, et qu'elle aille rejoindre celle du pli de Peipin. Il pourrait se faire que ce raccordement se fît suivant une ligne oblique aux lignes d'affleurement, et que la plus grande partie du massif de Peipin fût alors, elle aussi, superposée au Crétacé (*fig.* 60). Mais il est plus probable que la ligne directrice doit suivre parallèlement les directions des lignes d'affleurement et, par conséquent, que la charnière synclinale, après avoir contourné le massif d'Allauch, contourne aussi celui de Peipin. Cela s'accorde mieux, d'ailleurs, avec ce que j'ai dit du redressement presque vertical des assises jurassiques à l'extrémité de ce massif, et de plus on se rend mieux compte ainsi de la différence de composition des collines de Saint-Savournin et de Peipin.

C'est là, du reste, un point secondaire, et en tout cas on arrive à la conclusion suivante : la charnière synclinale du pli de l'Étoile se dévie brusquement vers le sud pour envelopper le massif d'Allauch; puis elle revient suivre jusqu'au-dessus d'Auriol le bord du bassin de Fuveau. Dans cette interprétation,

le massif d'Allauch, situé en face de celui de la Sainte-Baume, témoigne de déplacements horizontaux au moins aussi importants que ce dernier; il est impossible de ne pas rattacher ces déplacements semblables, en quelque sorte parallèles, à un même phénomène d'ensemble, c'est-à-dire à un même pli couché. Il faut donc que notre charnière synclinale revienne, par un nouveau décroche-

FIG. 60.

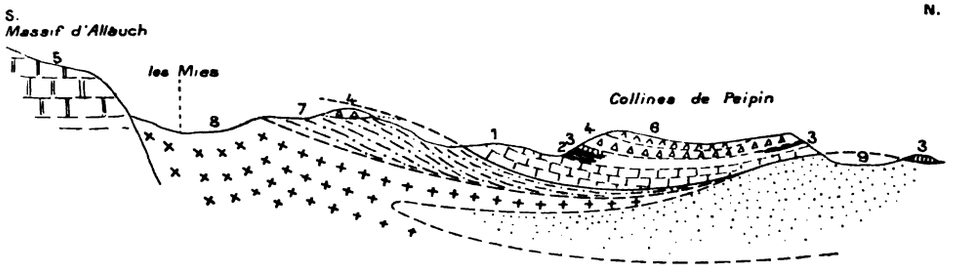


FIG. 61.

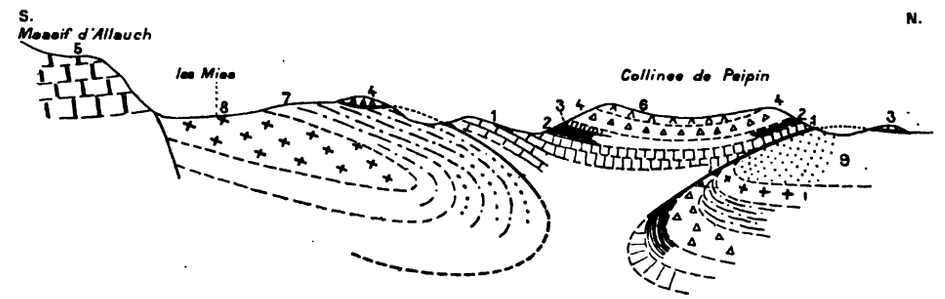


FIG. 60 et 61. — Coupes schématiques montrant les deux solutions admissibles pour les collines qui ferment la boucle anticlinale d'Allauch.

1. Infralias;
2. Jurassique inférieur;
3. Oxfordien;
4. Dolomies jurassiques;
5. Néocomien inférieur (massif d'Allauch);
6. Urgonien;
7. Aptien;
8. Calcaires à Hippurites
9. Couches de Fuveau.

Échelle des longueurs = 1 : 40 000 environ.

ment, rejoindre celle de la Sainte-Baume. Il est vrai que les affleurements ne montrent rien de semblable; mais on peut supposer que cette charnière synclinale a été dénudée au-dessus de la bande triasique de l'Huveaune.

Ainsi, en résumant aussi simplement que possible les descriptions précédentes, on se trouve en face du problème suivant :

Le massif crétacé d'Allauch, en y adjoignant les deux annexes affaissées des Cadets et des Mies, est complètement entouré par une ceinture de couches triasiques, qui, partout où l'observation est possible, se renversent vers le massif, et qui de deux côtés, au sud et à Pichauris, présentent bien nettement l'allure d'un pli anticlinal.

Dans les deux points où l'on voit ainsi s'amorcer un pli anticlinal (Trias de

la bande méridionale et Trias de Pichauris), ce pli anticlinal ne montre d'autre continuation possible que dans la bande périphérique elle-même; du moins, si une autre hypothèse est à la rigueur imaginable pour le Trias de Pichauris, elle semble contredite par les observations de détail.

Il faut donc conclure que la bande périphérique de Trias a partout la même signification, et qu'elle masque la trace d'un pli anticlinal qui décrit une courbe elliptique, et *qui se ferme en rond.*

Une explication s'offre immédiatement à l'esprit : si un pli couché a primitivement étendu ses masses de recouvrement au-dessus de tout le massif d'Allauch, si des actions ultérieures ont donné naissance à une saillie locale au droit de l'emplacement actuel, les dénudations ont dû, dans cette partie, mettre au jour le substratum crétacé, et l'îlot de terrains récents ainsi découvert doit être entouré de toutes parts par les parties respectées du manteau de recouvrement, c'est-à-dire par des terrains plus anciens, s'inclinant de toutes parts vers le massif avec tendance à le recouvrir, et séparés de lui par des lambeaux de terrains intermédiaires renversés. L'apparence sera celle que nous avons constatée, celle d'un pli anticlinal complètement fermé, faisant le tour du massif dénudé.

Objections à cette hypothèse.

Cette explication, que j'ai primitivement admise comme la seule possible, se heurte à de graves difficultés, si l'on cherche à reconstituer le pli qui aurait ainsi recouvert le massif d'Allauch. Le bassin crétacé sur lequel ce pli était couché vers le nord ne pouvait être que le bassin de Fuveau; ce pli était donc la continuation du pli de l'Étoile. La charnière synclinale des couches crétacées, qui ne semblent pas, comme nous l'avons vu, pénétrer très profondément sous ce massif, devait donc se dévier vers le sud et même vers le sud-ouest pour s'enfoncer jusqu'à Allauch; j'ai montré qu'on pouvait en reconstituer un point intermédiaire, sous la colline 625. A partir d'Allauch, cette charnière synclinale reprenait sa direction vers l'est en suivant de plus ou moins près le bord actuel du massif. Mais quand la bande triasique de bordure, auprès de Font de Mai, se retourne vers le nord, doit-on conclure que la charnière synclinale suivait ce nouveau mouvement? En d'autres termes, peut-on admettre que le Crétacé du massif d'Allauch, abaissé par la faille de la bordure orientale, se prolonge à l'est sous la vallée de l'Huveaune?

A priori, il est peu probable que la charnière synclinale continue ainsi à suivre une direction indépendante de celles des affleurements de la surface; mais s'il en était ainsi, le pli auquel elle appartient et le pli de la Sainte-Baume, tous deux situés en face l'un de l'autre, tous deux ayant produit des déplacements de plusieurs kilomètres vers le nord, ne sauraient être deux plis distincts, et, par conséquent, notre charnière synclinale, en se prolongeant vers l'est, devrait rejoindre celle du pli de la Sainte-Baume. Or cela est impossible, car le Crétacé sur lequel se serait couché le pli d'Allauch devrait passer sous le Trias de

la vallée de l'Huveaune, et au contraire le Crétacé du Plan d'Aups, sur lequel est couché le pli de la Sainte-Baume, est superposé à ce même Trias. Il n'y a donc pas d'autre tracé admissible pour la charnière synclinale qu'un tracé qui suive de plus ou moins près le bord du massif et remonte comme lui vers le nord. Enfin, puisque le Crétacé englobé est, par hypothèse, celui du bassin de Fuveau, il faut que notre tracé aille rejoindre la ligne qui limite la pénétration de ce Crétacé sous les collines de Peipin et d'Auriol. On a vu qu'on connaissait une limite supérieure de cette pénétration, donnée par le pli-faille de Sainte-Croix. Par conséquent, sans pouvoir préciser les détails, sans pouvoir dire si la charnière synclinale va contourner le massif de Peipin ou si elle se dirige obliquement aux affleurements, on peut du moins conclure qu'elle contourne le massif d'Allauch pour revenir, au nord d'Auriol, reprendre vers l'est la direction qu'elle suivait dans le pli de l'Étoile. Il n'y aurait qu'une déviation momentanée, une sorte d'*invagination* de la charnière synclinale autour du massif d'Allauch.

Invagination de la charnière synclinale autour du massif d'Allauch.

Le raisonnement fait plus haut, pour ne pas isoler le pli d'Allauch de celui de l'Étoile, pour les rattacher à un même phénomène d'ensemble, reste d'ailleurs toujours applicable. Il est donc vraisemblable que, du côté de Saint-Zacharie, un nouveau décrochement ramène la charnière synclinale vers le sud et lui permet de rejoindre celle de la Sainte-Baume. Les affleurements, il est vrai, ne permettent de rien constater de semblable; mais on peut supposer que ce retour de la charnière synclinale se produisait au-dessus de la bande triasique de l'Huveaune, et que la dénudation en a enlevé les traces.

On voit, en résumé, que, malgré les incertitudes de détail, cette discussion mène à une conséquence importante : en aucun cas, on ne peut attribuer les formes contournées du massif d'Allauch au seul hasard de la dénudation; même quand on cherche à expliquer les accidents de la région par l'existence d'un seul pli couché irrégulièrement dénudé, on trouve qu'une des principales lignes directrices de ce pli, la charnière synclinale des couches crétacées, suivrait, au moins en gros, les sinuosités des bords du massif. Si l'on considère l'ensemble du pli anticlinal couché sur le bassin de Fuveau, ce pli, de Mimet à Peipin, ne semble pas amener une pénétration du Crétacé sous le Jurassique qui dépasse 2^{km}; la charnière synclinale suit donc à peu de distance l'affleurement de la bordure jurassique, sauf en un point : en face de Valdonne, il y a, en empruntant une comparaison à l'histoire naturelle, *invagination* de cette charnière synclinale : elle s'éloigne de la tête du pli anticlinal de 8^{km}, pour contourner le massif d'Allauch; c'est le résultat qu'on obtiendrait, si l'on supposait l'enveloppe des couches crétacées formée par une membrane élastique, en introduisant dans cette membrane un coin de forme triangulaire, autour duquel elle se contournerait, moulant en quelque sorte les trois côtés pour réunir de nouveau ses parties distendues près du sommet laissé en saillie. Cette comparaison

Comparaison de la charnière synclinale avec une membrane élastique, forcée de se mouler autour d'un obstacle résistant.

explique bien comment le pli anticlinal ainsi refoulé se renverse partout sur le triangle, c'est-à-dire sur le massif d'Allauch. Mais comment expliquer qu'une pareille action se soit produite dans la nature, et ait ainsi compliqué localement les phénomènes déjà si extraordinaires des plissements provençaux?

Le massif d'Allauch a joué le rôle d'obstacle résistant, en ne se prêtant pas aux mouvements des parties voisines.

Je ne vois qu'une explication possible. Il faut que le massif d'Allauch ait joué le rôle de massif résistant et qu'il ne se soit pas prêté dans la même mesure aux mouvements que subissaient les parties voisines. Mais pour que cette résistance, cette sorte de môle fixe, ait suffi à motiver la déviation de la charnière synclinale vers le sud, il est nécessaire que dans les autres points voisins, cette charnière synclinale se soit avancée vers le nord. Imaginons, en effet, un pli renversé, qui se produit d'abord sous la forme d'une brusque sinuosité en forme de >, la prolongation des mêmes actions produira seule tous les phénomènes décrits précédemment, en allongeant le pli, en le forçant à se dérouler; c'est le mouvement qu'on peut imiter en maintenant fixe l'extrémité d'une feuille de papier, et en rapprochant progressivement l'autre extrémité à un niveau un peu peu supérieur. Mais, dans ce mouvement, il y a deux alternatives possibles : ou

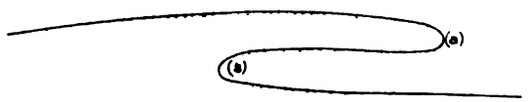


Fig. 62. — Charnière synclinale immobile.

Dans le mouvement de déroulement d'un pli, la charnière synclinale peut rester fixe ou accompagner le mouvement des parties amenées en saillie.

la surface supérieure de la feuille de papier s'avance seule, déplaçant en avant la charnière anticlinale (a) et laissant la charnière synclinale (s) immobile (*fig.* 62); ou bien le mouvement de la surface supérieure entraîne non seulement le déplacement de la charnière anticlinale, mais aussi, et dans le même sens, celui de la charnière synclinale (*fig.* 63). Dans ce second cas, un obstacle

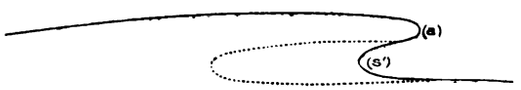


Fig. 63. — Charnière synclinale entraînée.

fixe, ou même un objet lourd, enveloppé dans la concavité de la feuille de papier, arrêtera ou retardera ce mouvement de la charnière synclinale, et pourra produire des irrégularités comparables à celles que nous observons à Allauch. En d'autres termes, ces irrégularités tendent à montrer que, dans les parties voisines du même pli, par exemple dans la chaîne de l'Étoile, la charnière synclinale s'est, pendant la formation du pli, avancée de plusieurs kilomètres vers le nord, et que par conséquent les déplacements horizontaux ont été beaucoup plus considérables que l'étude des positions respectives occupées

La charnière synclinale du pli de la Sainte-Baume s'est, dans la chaîne de l'Étoile, avancée de 8^{km} plus au nord que dans la chaîne de la Sainte-Baume.

actuellement par les diverses couches ne mènerait à l'évaluer. La coupe d'Allauch correspond à la fig. 62; celle de l'Étoile à la fig. 63; le déplacement réel a été égal dans les deux cas, mais le déplacement apparent est bien différent.

La comparaison avec la membrane élastique rend compte de l'exagération des étirements et des déchirures produites sur le bord du massif.

On voit en même temps, dans la mesure où ces assimilations un peu grossières peuvent être acceptées pour guides, pourquoi tout autour du massif d'Allauch le pli anticlinal serait si prodigieusement étiré sur ses deux flancs. L'étirement des couches sur les flancs du pli peut s'assimiler à la distension de la membrane élastique dans laquelle on enfonce le coin triangulaire; c'est comme un nouvel effet surajouté à ceux de la formation normale du pli. La membrane même peut se déchirer complètement, et c'est là, sans doute, la signification des failles qui limitent le massif à l'est et au nord-ouest, et dont le résultat est de supprimer complètement en certains points la charnière synclinale et même aussi le noyau anticlinal. Ces failles sont les déchirures du pli, forcé de se mouler autour du massif résistant.

La partie homologue où le pli de la Sainte-Baume, le long de la vallée de l'Huveaune, est dévié vers le nord, montre une exagération analogue des étirements sur les deux flancs du pli.

D'ailleurs, c'est un fait remarquable, propre à venir à l'appui de ces considérations, que l'étirement non moins considérable du pli de la Sainte-Baume, dans la partie où une torsion analogue l'a dévié successivement vers le nord, puis vers l'est. Tout le long de la bande triasique de Roquevaire, d'Auriol et de Saint-Zacharie, bien que la bande soit bien plus largement étalée que celle qui fait ceinture au massif d'Allauch, bien que nulle part sur ses bords on ne trouve trace de renversements, on ne voit les étages jurassiques et le Crétacé supérieur apparaître que par lambeaux intermittents. J'ai déjà décrit ces phénomènes pour le bord oriental et méridional, celui qui touche au bassin crétacé de Saint-Zacharie; mais de l'autre côté les phénomènes sont les mêmes : à Auriol, le Muschelkalk plonge sous le Jurassique supérieur; de là à Roquevaire, les Marnes irisées et quelques rares lambeaux de Bathonien froissé s'intercalent; les gypses, près de Roquevaire, sont exploités sous les dolomies jurassiques, et au sud de Roquevaire ils plongent directement sous l'Urgonien. Si bien qu'une coupe N E.-S.O., dirigée de Roquevaire à Garlaban (*fig.* 64), rencontrerait probablement, au-dessus du Trias, un synclinal étiré sur toute sa longueur, aussi bien au fond que sur les côtés; la faille très oblique (faille d'étirement) qui limite vers l'ouest le Trias de Roquevaire, va sans aucun doute se raccorder en profondeur avec celle qui limite vers l'est le Trias des Gavots et du pied de Garlaban. L'étirement a eu lieu sur toute la surface du Trias dans cette zone, où la charnière synclinale a été reportée vers le nord.

Hypothèse d'un enfouissement local.

Depuis la rédaction de ce Chapitre, j'ai été amené à discuter une autre hypothèse, qui pourrait à la rigueur rendre compte des anomalies du massif d'Allauch. Au lieu de considérer l'affleurement crétacé comme résultant d'une dénudation, on pourrait essayer de le considérer comme résultant d'un enfouissement local : le massif serait non plus un massif surélevé, mais un massif

affaissé. Cet affaissement ne peut résulter d'une simple descente verticale sous l'action de la pesanteur; la superposition oblique du Trias et du Jurassique sur le Crétacé, avec lambeaux étirées et renversés, et concordance constante de toute la série, écarte absolument cette hypothèse. Il faudrait donc que ce fût par la formation d'un pli ou d'une cuvette synclinale que le Crétacé eût été ainsi enfoui au milieu du Trias; ce serait une cuvette synclinale, très large et très limitée en direction, enveloppée d'abord par la cuvette plus étroite et mieux

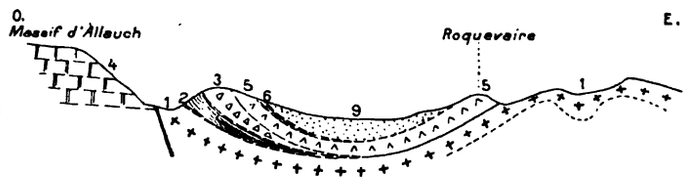


FIG. 64. — Coupe du massif d'Allauch à Roquevaire.

1. Trias; 2. Jurassique inférieur étiré; 3. Jurassique supérieur étiré; 4. Néocomien inférieur; 5. Urgonien; 6. Aptien; 9. Terrains tertiaires discordants.

Échelle des longueurs = 1 : 40 000.

dessinée de Peipin, de Roquevaire et de la Treille, puis par la bande triasique de l'Huveaune; ce serait donc un phénomène à rattacher à la grande ondulation transversale dont j'ai déjà parlé.

Cette hypothèse explique mal l'existence du liséré triasique, qui se prolonge sur plusieurs kilomètres, avec une largeur d'une vingtaine de mètres, entre deux murailles crétacées, et elle se heurte en outre à deux objections plus graves : la profondeur de l'enfouissement, qui, précisément dans la partie la plus étroite du bassin, atteindrait un millier de mètres; puis, la cessation brusque du bassin synclinal, qui, au lieu de s'effacer progressivement, s'arrêterait tout d'un coup, au point où il est creusé le plus profondément, *sans se continuer, même par une légère ondulation, dans les terrains jurassiques voisins*. Pour que la chose soit possible, il faut recourir à une seconde hypothèse : il faut que la cuvette soit, à l'endroit où elle s'arrête ainsi, beaucoup moins profonde qu'elle ne paraît, c'est-à-dire qu'elle soit creusée à un point où le Crétacé reposait directement ou presque directement sur le Trias ou sur l'Infralias. En d'autres termes, il faut admettre, avant la formation de la cuvette synclinale, l'existence d'une grande faille horizontale qui aurait supprimé tous les terrains intermédiaires. Il y aurait donc, en tout cas, sur l'emplacement actuel du massif, de grands déplacements horizontaux, preuve indirecte que le pli qu'on retrouve à l'est ou à l'ouest (l'Étoile et la Sainte-Baume), et qui semble ici interrompu, a aussi fait sentir ses effets sur cet emplacement.

Ainsi, cette seconde hypothèse, plus simple en apparence, mais moins conforme dans le détail aux faits observés, ramène par une autre voie aux deux

conséquences principales auxquelles nous étions arrivés : 1° la continuité presque rectiligne de la large bande sur laquelle se sont produits les déplacements horizontaux vers le nord, et le raccordement du pli de l'Étoile au pli de la Sainte-Baume; 2° le déplacement très inégal de la charnière synclinale dans les deux parties de ce pli.

Les deux hypothèses possibles amènent donc à cette même conclusion : que le massif d'Allauch fait partie de la même bande continue de grands déplace-

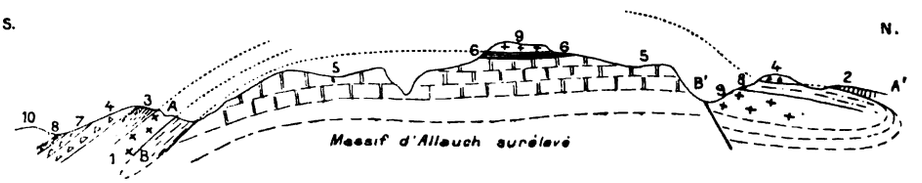


FIG. 65. — Coupe schématique du massif d'Allauch.

1. Trias; 2. Infralias; 3. Jurassique inférieur; 4. Jurassique supérieur; 5. Néocomien inférieur; 6. Néocomien supérieur; 7. Urgonien; 8. Aptien; 9. Calcaires à Hippurites; 10. Tertiaire.

A. Anticlinal d'Allauch; A'. Terrains de recouvrement de Pichauris; B. Synclinal du Sud; B'. Synclinal du Nord ou des Mies.

Échelle des longueurs = 1 : 80 000.

ments horizontaux que le pli de l'Étoile et le pli de la Sainte-Baume. Leur conséquence commune est d'expliquer par des glissements des assises les unes sur les autres, les lacunes apparentes, les diminutions d'épaisseur et les suppressions d'étages entiers qui s'observent dans le massif. Pour quelques-unes, il est vrai, on peut invoquer l'existence d'un haut fond, préexistant sur cet emplacement dès la période crétacée : ainsi au sud du plateau, le Néocomien inférieur qui conserve partout son développement remarquable, avec une épaisseur de plus de 100^{m}, est surmonté par les couches marneuses du Néocomien à Spatangues et à *Exogyra Couloni,* tandis que ces dernières couches font défaut au nord du plateau; mais le Néocomien n'existe pas plus au nord; il est donc possible que l'absence de ces couches corresponde à une véritable lacune, et qu'on soit là sur la ligne qui limitait le dépôt de cet étage. Il n'en est certainement pas de même pour l'Urgonien et pour l'Aptien. L'Urgonien, bien développé au sud, avec plus de 200^{m} de puissance, est réduit à une dizaine de mètres au nord du Baou Rouge, et il manque tout à fait autour des sommets 660 et 663. Or, l'Urgonien existe à l'ouest, sur tout le flanc de la chaîne de l'Étoile; il existe au nord, à Peipin; à l'est, à Roquevaire et dans la Sainte-Baume; au sud, sur les bords du massif et dans celui de Saint-Cyr. Il est donc tout à fait invraisemblable que, sur ce coin restreint, il ne soit pas déposé; de même pour l'Aptien et le Cénomanien, auxquels un raisonnement analogue est applicable. Il y a notamment un îlot de Cénomanien, au-dessus du Logis-Neuf et des Maurins, qui n'est pas distant de 2^{km} des sommets où il fait constamment défaut,

Suppressions intermittentes de couches dans la série crétacée du massif.

Ces suppressions sont dues à des glissements à peu près parallèles aux surfaces de stratification.

et qui, avec ses Caprines et ses *Ostrea columba*, ne montre par aucun signe, par aucune modification dans le facies, l'approche d'une terre émergée. Si donc les couches à Hippurites, au haut du plateau, reposent directement sur le Néocomien, c'est, sans aucun doute, par suite de glissements dans les plans des couches, liés aux grands déplacements d'ensemble des plis voisins. Ces glissements ont ici un intérêt particulier, parce que, comme ceux de la région du nord de Toulon, ils se sont produits dans le flanc normal, dans le flanc non renversé d'un pli couché, dont l'existence sur leur emplacement ne peut s'établir que par une série d'inductions.

Terminaison à l'ouest du pli de la Nerthe, qui continue celui de l'Étoile.

Le pli de la Nerthe va se terminer à l'ouest un peu au delà du souterrain du même nom; il se termine d'une manière bizarre, sous forme d'une bande étroite de Trias, avec gypses exploités jusqu'à son extrémité, qui s'introduit comme un coin très allongé au milieu de terrains de plus en plus récents, accompagnée çà et là de minces lambeaux de terrains intermédiaires. Un effondrement qui a amené une large traînée d'Aptien, sur le bord de ce pli si réduit, en complique encore les apparences. Il y a aussi deux petites ramifications vers le sud, mais dont les bombements s'arrêtent avant d'atteindre la côte. Dans toute cette partie, les renversements ont disparu; le pendage est à peu près vertical au-dessus du tunnel; c'est donc seulement de la partie orientale du pli jusqu'à Septèmes qu'il reste à s'occuper au point de vue des faits de recouvrement.

Trias de Saint-Germain, s'intercalant brusquement au milieu de l'Aptien.

Le seul problème nouveau et remarquable, dans cette partie, se rapporte au Trias de Saint-Germain, près de Simiane. J'ai dit que jusqu'à Mimet, sur le flanc renversé du pli, la série des terrains crétacés se complétait, et que notamment l'Aptien arrivait à prendre un grand développement; d'après M. Collot, une partie de cet Aptien serait à rapporter au Gault, mais la distinction, en tout cas, est difficile à faire. Or, dans cette bande d'Aptien dont la largeur arrive à dépasser 1^{km}, on voit près des Putis et de Saint-Germain s'intercaler un petit massif de Trias, formé de Muschelkalk et de Marnes irisées avec gypse exploité, et qui se prolonge en s'amincissant jusqu'à 5^{km} à l'ouest. Ce massif sépare en deux la bande aptienne, dont une partie se continue vers Simiane, et dont l'autre va se terminer en coin, entre le Trias et le Jurassique, à 2^{km} plus à l'ouest(1).

Ce Trias n'est pas superposé à l'Aptien.

La première idée qui vient à l'esprit, après les exemples précédents, est que ce Trias est superposé à l'Aptien; mais il faut avouer que l'établissement des coupes, dans cette hypothèse, présente d'assez grandes difficultés : c'est un point qui reste à éclaircir, et je me contenterai d'indiquer sommairement les faits observés.

L'Aptien fait partie d'une bande de terrains renversés; les couches de Fuveau et les calcaires à Hippurites plongent sous lui, et lui-même plonge sous la falaise

(1) Voir la *Carte géologique détaillée de la France*, feuille 235 (*Aix*).

du Pilon du Roi, qui montre à sa base le Néocomien et à son sommet les dolomies jurassiques. Quand le Trias s'interpose, si l'on suit la branche septentrionale de l'Aptien, on voit les dolomies jurassiques, puis le Néocomien, puis l'Urgonien s'introduire à son contact et le séparer du Trias. La pente de ces terrains se rapproche de plus en plus de la verticale et, dans le ravin qui aboutit au château de Gui, on traverse ainsi une série complète, presque verticale, de l'Aptien au Jurassique moyen. Le Lias même est représenté par un lambeau qui s'étend à l'est, puis on arrive au Trias, dont les couches sont très tourmentées. De l'autre côté de ce Trias reparaît le Jurassique moyen, qui, d'abord horizontal, s'incline doucement sous les dolomies de l'Étoile (*fig.* 66). Si l'on suit à l'ouest la bande triasique, elle prend sur 2^{km} le caractère de traînée isolée au milieu de deux collines jurassiques, mais elle se continue par le Lias de Septèmes, c'est-à-dire par l'axe anticlinal de la Nerthe.

La branche méridionale d'Aptien continue à plonger sous le Néocomien, puis sous le Jurassique, et quand elle disparaît en pointe, elle laisse le Trias en

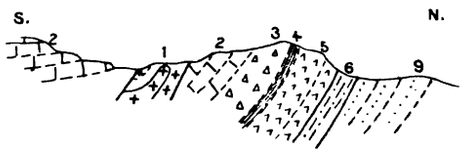


Fig. 66. — Coupe à l'ouest de Simiane.

1. Trias; 2. Oxfordien; 3. Jurassique supérieur; 4. Néocomien; 5. Urgonien; 6. Aptien; 9. Danien.

Échelle des longueurs = 1 : 40 000.

L'explication peut en être cherchée dans un rebroussement brusque du pli, en direction. Mais la preuve n'est pas faite.

contact avec ce dernier. Si le Trias n'est pas superposé à l'Aptien, il faut supposer que l'axe du pli subit un rebroussement brusque, dont la figure en plan serait à peu près la suivante : . Rien, dans la direction des couches, ne semble correspondre à cette brusque sinuosité. Si, au contraire, le Trias est superposé à l'Aptien, il faut que le noyau du pli, qui, dans la falaise du Pilon du Roi, ne fait pas apparaître de terrain plus ancien que le Jurassique supérieur, laisse brusquement s'introduire tous les étages jusqu'au Trias. La verticalité de la série indiquerait alors le voisinage de la charnière anticlinale, et l'on serait amené à compléter une coupe telle que celle de la figure 68. On voit, sans insister, combien elle est invraisemblable.

Ilot de dolomies jurassiques de la Galinière, superposé à l'Aptien.

En tout cas, on trouve un peu à l'est, au milieu de l'Aptien, à la Galinière, un petit îlot de dolomies, complètement isolé, et dont la présence est absolument inexplicable s'il n'est pas superposé à l'Aptien. D'ailleurs, en en suivant le bord, on voit, au sud, les marnes aptiennes plonger sous les dolomies. Si ces dolomies appartenaient au Jurassique supérieur, il faudrait y voir la continuation de la falaise du Pilon du Roi (*fig.* 69), et leur présence s'expliquerait

d'elle-même comme lambeau de recouvrement. Mais, bien que ces dolomies ne renferment pas de fossiles, leur facies minéralogique est tellement semblable à

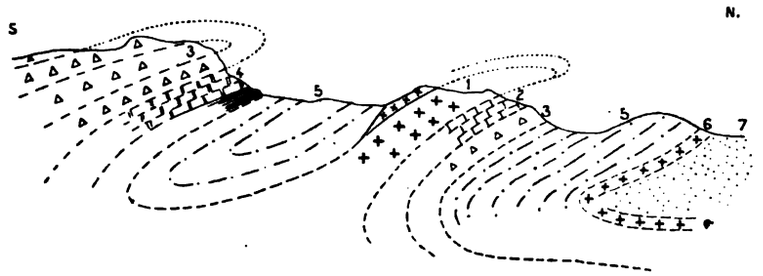


FIG. 67. — Trias de Saint-Germain. Hypothèse d'un rebroussement du pli.

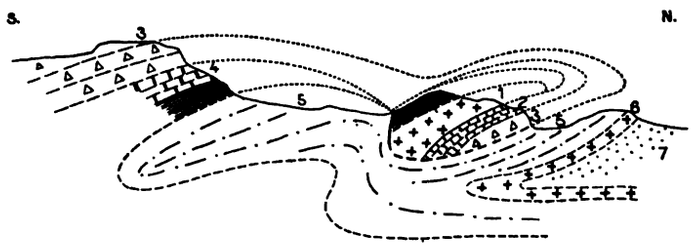


FIG. 68. — Trias de Saint-Germain. Hypothèse d'un recouvrement.

LÉGENDE COMMUNE AUX FIGURES 67 ET 68 :

1. Trias; 2. Oxfordien; 3. Dolomies supérieures; 4. Néocomien; 5. Aptien; 6. Calcaires à Hippurites; 7. Couches de Fuveau.

Échelle des longueurs = 1 : 40 000.

celui des dolomies de l'Infralias qu'il est difficile de ne pas les rapporter à cet étage. On se trouve alors en face de la même difficulté que pour le Trias voisin

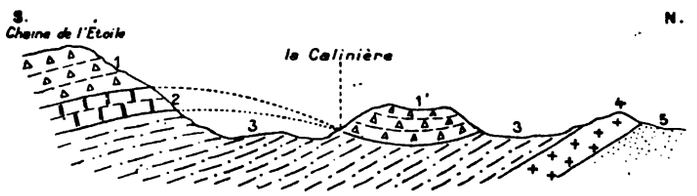


FIG. 69. — Coupe de l'îlot de la Galinière.

1. Dolomies jurassiques; 1'. Dolomies de la Galinière (Jurassique supérieur ou Infralias?); 2. Néocomien; 3. Aptien; 4. Calcaires à Hippurites; 5. Couches de Fuveau.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000.

de Saint-Germain : comment un pli, qui se ferme en apparence sur les couches du Jurassique supérieur, a-t-il pu charrier en avant des terrains plus anciens,

que ce soit de l'Infralias ou du Trias? Si l'on se refuse à cette possibilité et à la coupe peu satisfaisante qui en serait la conséquence, il ne reste plus à faire venir l'Infralias que de l'ouest, en le rattachant virtuellement au Trias de Saint-Germain. Pour la coupe N.-S. de ce Trias, il faut, dans ce cas, à la figure 68 substituer la figure 67, c'est-à-dire revenir à l'hypothèse d'un rebroussement du pli. En plan, la charnière synclinale dessinerait une ligne telle que *abc*, et la charnière anticlinale une ligne telle que *ab'c'*; la portion barrée entre les deux représenterait la largeur sur laquelle ont eu lieu les recouvrements de l'Aptien,

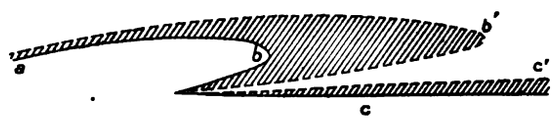


Fig. 70.

et l'on s'expliquerait alors comment le Trias étant en *b* (Saint-Germain), avec racine en profondeur, l'Infralias pourrait avoir été poussé jusqu'en *b'* (la Galinière). La longueur *bb'* serait de 4^{km} (*fig.* 70).

J'ai cru devoir signaler la difficulté qui, là, reste à résoudre. Elle a un caractère tout local, et sa solution n'ajouterait, en tout cas, rien de nouveau à nos notions sur les déplacements horizontaux.

5° Le pli de Brignoles.

Les deux plis anticlinaux qu'on trouve au nord du pli de la Sainte-Baume ne se raccordent pas l'un avec l'autre, mais sont séparés par une large bande triasique, qui s'élève transversalement vers le nord.

Au nord du pli de la Sainte-Baume s'étend, comme nous l'avons vu, le bassin crétacé de Camps et du Plan d'Aups, auquel se rattache celui de Nans et de Saint-Zacharie; en avant, c'est-à-dire encore au nord de ces bassins, un nouveau pli anticlinal leur succède, dont la trace est marquée à l'ouest par le chaînon de l'Olympe, et à l'est par la dépression du haut Caramy jusqu'à Brignoles, tandis que, plus loin encore à l'est, il se ramifie et va se perdre dans le réseau complexe des collines de Cabasse, de Flassans et du Luc. Ces deux moitiés du pli anticlinal se font face, mais ne se continuent pas directement l'une l'autre; comme les deux parties du pli de la Sainte-Baume, celle de la chaîne de la Sainte-Baume et celle du massif de l'Étoile, elles sont séparées par une large traînée de Trias, qui s'étend au nord jusqu'au delà de Barjols, et qui joue un rôle tout à fait comparable à la traînée N.-S. de Saint-Zacharie et d'Auriol, dont elle est peut-être la continuation; seulement, le développement de cette bande est bien plus considérable : du sud au nord, il dépasse 20^{km}.

De part et d'autre de ce Trias, les raccordements des plis sont hypothétiques.

Les plis anticlinaux de l'est, c'est-à-dire les bandes triasiques de Brignoles et du haut Caramy, vont se raccorder sans discontinuité avec la bande transversale et se fondre avec elle. Les plis synclinaux, au contraire, c'est-à-dire les bassins crétacés, s'arrêtent brusquement à cette bande transversale, avec tendance des couches intermédiaires, de plus en plus étirées, à se mouler autour de leur extrémité.

Le pli de Brignoles est un pli intermédiaire, complètement rabattu et replié sur lui-même.

Ces apparences sont encore inexpliquées. Si l'on s'en tient à la traduction immédiate des faits observés, le pli de Brignoles apparaît comme un pli intermédiaire qui s'intercale et s'est propagé seulement dans la partie orientale de la région, et ce pli est complètement replié sur lui-même; ses deux branches peuvent se comparer aux deux moitiés d'un livre qu'on aurait refermé.

Je me bornerai ici à étudier les coupes qui, sur les bords de ce pli double, et autour du bassin crétacé du Val, donnent de nouveaux exemples de déplacements horizontaux et de superpositions anormales.

Les renversements, dans le pli de Brignoles, se font surtout vers le sud; mais ils se font toujours sur le bassin crétacé qui, dans l'énumération générale des plis, lui fait suite vers le nord.

Le fait remarquable qui se dégage de ces coupes, c'est que les renversements n'ont plus lieu, comme dans la plupart des exemples précédents, uniquement vers le nord, mais que ceux qui sont le mieux marqués donnent, au contraire, la preuve d'un déplacement vers le sud. Le pli de Brignoles, si on le suit à partir du point où il atteint et semble croiser la bordure permienne, est d'abord couché vers le nord, puis il devient un pli droit, sans renversement, tant qu'il se dirige vers l'est; ensuite, quand à partir de Bras il tourne vers le nord, puis vers l'est en revenant sur lui-même, son renversement s'accuse de plus en plus, en se produisant toujours sur le même synclinal qu'à la naissance apparente du pli, c'est-à-dire d'abord vers l'ouest, puis vers le sud. C'est la même règle (renversement sur le bassin qui, dans l'énumération générale, fait suite vers le nord) que nous verrons se vérifier pour le pli suivant, celui de Salernes.

Coupe du Cannet-du-Luc.

La première coupe se rapporte au point où le pli vient buter et se terminer contre la plaine permienne qui borde les Maures; cette coupe diffère de tout ce que nous avons vu jusqu'ici. Tandis que, de Gonfaron au Luc, l'escarpement qui termine vers le nord-ouest la plaine permienne est régulièrement formé de Muschelkalk, normalement superposé au Grès bigarré, entre le Luc et le Cannet-du-Luc, les différents étages liasiques et jurassiques, verticaux et formant une ligne de collines dirigée du N.-O. au S.-E., viennent successivement s'arrêter au contact du Permien; la ligne des coteaux de bordure est comme croisée et coupée par une ligne transverse de coteaux, qui ne se poursuit pas plus loin, pas même par une légère ondulation dans les couches permiennes. Quand on a dépassé cette barre transversale, on arrive au Cannet-du-Luc, village situé sur une colline isolée, dont les flancs, formés au sud de grès permiens, sont couronnés par des calcaires horizontaux. Il semble qu'on soit, là, rentré dans le régime régulier, tel qu'on l'observait entre Gonfaron et le Luc, et en gravissant la colline on s'attend à trouver à son sommet le Muschelkalk. Il n'en est rien : les

Bathonien renversé superposé au Permien.

calcaires sur lesquels est construit le village sont bathoniens! Bien plus, en examinant de près la succession des bancs, on peut, malgré la rareté des fossiles, constater qu'elle est inverse de celle qu'on connaît dans les autres coupes du Bathonien de la région. Comme vérification, en descendant la colline à l'est, on trouve quelques affleurements de dolomies du Jurassique supérieur; et, en s'avançant au N.-O., on voit le Bathonien calcaire plonger sous le Bathonien inférieur (calcaires marneux à *Cancellophycus*), qui forme le versant oriental de la barre signalée précédemment. Ainsi, le Permien est là recouvert, non, comme il devrait l'être, par le Trias, mais par le Jurassique et par le Jurassique renversé (*fig.* 71). D'ailleurs, ce chapeau anormal est tout à fait isolé; il ne se continue

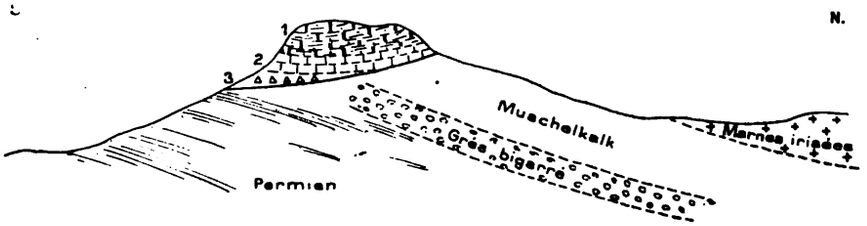


FIG. 71. — Coupe du Cannet-du-Luc.

1. Bathonien moyen; 2. Bathonien supérieur; 3. Dolomies du Jurassique supérieur.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000.

pas à l'est et, sur le versant nord de la colline, on retrouve le Muschelkalk, incliné vers le nord, c'est-à-dire faisant suite régulièrement au Permien du versant sud, et recouvert plus loin par les Marnes irisées. En réalité, la partie renversée, qui interrompt la série normale des étages, est limitée par une ligne sinueuse, qui, après avoir suivi depuis le Thoronet le pied oriental de la bande jurassique, entoure en forme de boucle le sommet du Cannet et se retourne vers l'ouest parallèlement à la bordure permienne, pour s'arrêter et disparaître avant d'atteindre le Luc. Cette ligne est bien une ligne de faille, affleurement d'une même surface qui est presque verticale au Thoronet et presque horizontale au Cannet-du-Luc; la signification en est facile à saisir : cette surface n'est autre que la surface médiane ou axiale du pli synclinal sur lequel est renversé le pli de Brignoles; ce pli synclinal est ici écrasé, de sorte que cette surface médiane est représentée par une faille, ou surface de glissement. Ce qui cause l'étrangeté et le caractère inusité de la coupe, c'est que là, ce n'est pas le flanc renversé, mais le flanc normal du synclinal écrasé qui a été supprimé par les glissements.

La faille qui sépare du Permien les couches renversées est la continuation de celle qui marque, à partir du Thoronet, la place du synclinal écrasé entre les deux branches du pli.

Pour mieux faire comprendre ces actions, prenons pour point de départ la coupe des collines jurassiques auprès du Thoronet (*fig.* 72). La série complète des assises jurassiques, formant la retombée du pli, se succède en bancs presque

verticaux, jusqu'aux dolomies supérieures, qu'accompagnent les couches de Bauxite exploitées depuis longtemps dans cette localité. Toute cette série butte par faille contre l'Infralias, qui représente l'autre versant du pli synclinal, dont la Bauxite indique le fond. La Bauxite, quand l'Urgonien existe, est toujours supérieure à l'Urgonien; sa superposition directe aux dolomies, qui est un fait constant à l'est du bassin du Beausset jusqu'à Draguignan, indique que dans

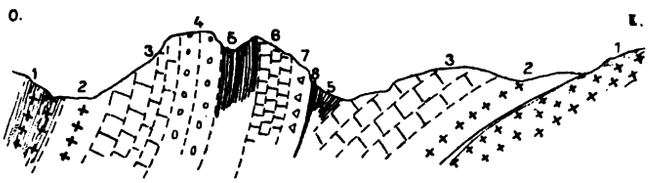


FIG. 72. — Coupe du Thoronet.

1. Muschelkalk; 2. Marnes irisées; 3. Infralias; 4. Lias et Bajocien; 5. Bathonien marneux; 6. Bathonien calcaire; 7. Dolomies supérieures; 8. Bauxite.

Échelle des longueurs = 1 : 40 000.

cette région le Crétacé inférieur ne s'est pas déposé et, au point de vue stratigraphique, sa présence marque l'existence d'un pli synclinal, aussi nettement que le ferait la présence du Crétacé.

Ce pli anticlinal et le synclinal écrasé qui lui fait suite s'arrêtent sans trace de continuation au bord de la plaine permienne; mais les affleurements jurassiques s'étendent un peu vers l'est; c'est l'indice que le pli, en atteignant cette bordure permienne, se contourne parallèlement à la ligne de coteaux qui le limite actuellement, c'est-à-dire parallèlement au massif des Maures. A cette déviation, à cette torsion, correspond, comme nous l'avons déjà vu plusieurs

L'arrêt brusque apparent du pli, quand il atteint la bordure permienne, s'explique par ce qu'il se contourne parallèlement à cette bordure en se renversant vers le nord.

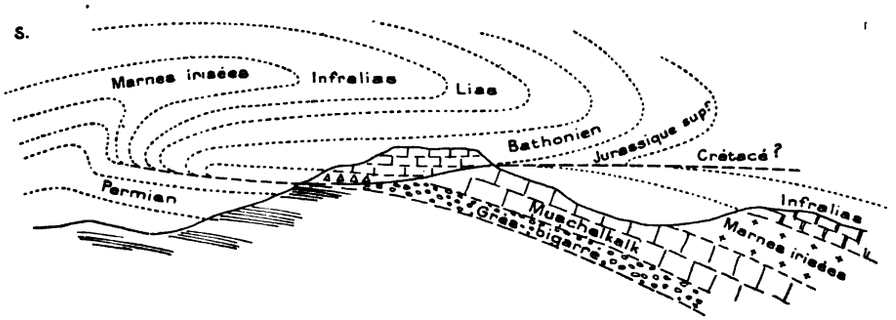


FIG. 73. — Coupe théorique du pli dénudé du Cannet-du-Luc.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000.

fois, un étirement plus grand des couches; en même temps, le renversement s'accentue et le pli se couche davantage; conformément à ces idées théoriques, nous pouvons reconstruire la coupe nord-sud du pli, en face du Cannet, dans la partie où il était dévié vers l'est (*fig.* 73). Cette figure fait comprendre en

Le pli disparaît à l'est, parce que, de ce côté, il a été tout entier enlevé par la dénudation.

même temps que, si le pli n'existe plus à l'est, ce n'est pas qu'il cessât brusquement, c'est qu'il a été tout entier enlevé par la dénudation. Le petit chapeau jurassique de la colline du Cannet-du-Luc nous permet seul de nous rendre compte de sa déviation.

La coupe dirigée de l'est à l'ouest est, dans une de ses parties, normale à la direction du pli et, dans l'autre partie, parallèle à cette direction déviée.

Si maintenant on fait une coupe par la même colline, dirigée de l'est à l'ouest, c'est-à-dire parallèlement à la bordure, cette coupe, où la part de l'hypothèse est moins considérable, présente un dessin un peu plus compliqué et plus anormal, parce que dans une de ses parties elle est perpendiculaire au pli et que dans l'autre elle lui est parallèle (*fig.* 74); mais elle fait bien comprendre comment la surface qui correspond à l'axe du synclinal est accidentée par la torsion du pli, comment cette surface peut être verticale au Thoronet et

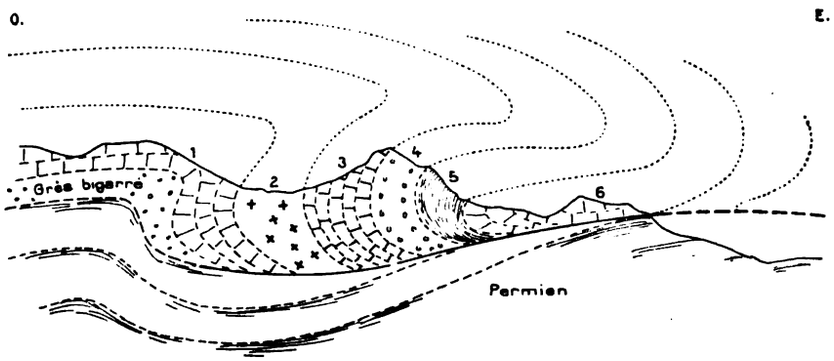


FIG. 74. — Coupe est-ouest du pli du Cannet.

1. Muschelkalk;
2. Marnes irisées;
3. Infralias;
4. Lias et Bajocien;
5. Bathonien inférieur;
6. Bathonien moyen et supérieur.

Échelle des longueurs = 1 : 40 000.

horizontale au Cannet; enfin comment son affleurement présente le contour sinueux qui entoure le coteau du Cannet, et comment, malgré l'épaisseur des termes supprimés, il vient se fondre à une très courte distance avec la ligne de superposition normale du Trias et du Permien.

Le reste de la branche méridionale du pli ne montre pas de renversement.

La reconstitution du pli couché au Cannet, outre qu'elle nous donne l'explication rationnelle d'une coupe unique, je crois, en stratigraphie, est intéressante parce que tout phénomène de renversement disparaît quand le pli a repris sa direction de l'est à l'ouest, entre le Thoronet et Brignoles : c'est du moins ce qui résulte de l'étude que M. Zürcher a faite de cette région. Le pli synclinal s'élargit de plus en plus; le Crétacé supérieur apparaît dans la vallée du Caramy et s'épanouit dans le bassin du Val, où affleurent les couches à Cyrènes de Fuveau; les bords de ce bassin semblent, en plusieurs points, faillés; mais rien, dans les faits connus, n'indique que le pli anticlinal de Brignoles se soit en aucun point renversé ou couché sur le bassin crétacé.

Le pli tourne vers le nord, aux environs de Bras, avec de nouvelles complications.

La ligne des affleurements crétacés est interrompue entre le Val et Bras, sans aucun doute par suite d'un léger bombement local du fond du bassin, suivi naturellement de dénudations plus profondes. Les affleurements crétacés reprennent autour de Bras, accompagnés et surmontés de couches tertiaires. Là, ces couches sont comprises entre les dolomies jurassiques et le Trias; elles sont de plus interrompues par plusieurs pointements jurassiques, d'âge varié. Là, toute apparence régulière du pli synclinal semble cesser; on se trouve en face de difficultés et d'irrégularités nouvelles, qu'il faut chercher à expliquer.

Quand, partant du village de Bras, on suit la route de Tourves, vers le sud, on est sur le Muschelkalk, qui forme toutes les collines voisines, et dont les assises fortement redressées se dressent verticalement au nord, à l'entrée de la gorge du Cauron. Dans le cirque où s'élargit la vallée, au sud de Bras, on voit même affleurer les premiers bancs du Grès bigarré. En poursuivant la route, on trouve les collines 330 formées de Marnes irisées avec gypse et, au sommet de la côte, on arrive tout à coup sur des marnes et calcaires lacustres, avec Lymnées, Planorbes et *Melanopsis* (1), dont le contact avec les Marnes irisées est bien découvert, et qui plongent au sud sous ces marnes triasiques, avec un pendage de 80° environ. De là jusqu'aux Paulets, la route ne quitte pas ces couches tertiaires; un tuf très dur et à cassure cristalline, avec marnes ligniteuses, puis des grès et des poudingues, en complètent la série. Elles sont bordées à l'ouest par les calcaires du Muschelkalk, tandis qu'à l'est s'élève une suite de collines d'une composition plus complexe : presque tous les étages jurassiques s'y rencontrent, dans leur ordre normal de superposition, mais avec des épaisseurs très réduites; ainsi l'Infralias est rudimentaire à la base, et le Lias fait partout défaut, le Bathonien marneux et les dolomies supérieures sont les étages les plus développés. Ces couches jurassiques sont à peu près horizontales, et la ligne qui les sépare du Tertiaire offre un contour très sinueux. De l'autre côté de ces collines, à l'est (2), s'étend une dépression cultivée, où affleurent des marnes rouges, rappelant par leur aspect celles du Crétacé supérieur, et sous lesquelles plongent, en effet, les marnes à Cyrènes de Fuveau. Au delà de la dépression s'élèvent les coteaux dolomitiques qui entourent le bassin du Val; les dolomies, en plusieurs points, butent contre les marnes à Cyrènes, à peu près horizontalement; mais en d'autres points elles montrent un léger plongement vers ces marnes, plongement qui s'accentue sur le bord, avec apparition intermittente de Bauxite. Si l'on se souvient que, dans cette région, il ne s'est déposé ni Crétacé inférieur, ni calcaires à Hippurites,

La série des coteaux jurassiques qui bordent le petit bassin du Val est superposée aux marnes crétacées.

(1) J'ai constaté, depuis la rédaction de ce Mémoire, que ces couches tertiaires sont discordantes avec le reste de la série, et qu'elles sont postérieures aux grands mouvements de plissement.

(2) Voir la *Carte géologique détaillée de la France,* feuille 236 (*Draguignan*), par M. ZÜRCHER.

on voit que, sauf une légère dénivellation, la succession est presque normale, et l'apparition des couches de Fuveau s'explique sans difficulté. Il n'en est pas de même de la réapparition du Jurassique dans les collines de l'ouest; là, il faudrait supposer une faille considérable, qui, au contact du Danien supérieur, ramènerait l'Infralias, et même, un peu plus au nord, le Muschelkalk. Cette faille est inadmissible, au moins en tant que faille verticale; en effet, au point où le ravin d'Anadeau coupe la ligne de ces collines, il a entamé les étages jurassiques jusqu'à leur base, et mis à nu le Crétacé, dont le gisement se rattache ainsi sans discontinuité à celui du Tertiaire, marnes et poudingues, qui borde les mêmes collines à l'est. De plus, au nord de ce ravin, dans la bande danienne un peu élargie, il y a un autre mamelon, complètement isolé, de dolomies jurassiques. Sous ce mamelon, on a poussé une galerie de recherches pour recueillir et capter les eaux, et sur plusieurs mètres cette galerie horizontale est restée dans les marnes rouges crétacées. Il ne peut donc y avoir aucun doute que tout cet ensemble de collines jurassiques, à couches horizontales et amincies, ne soit superposé au Crétacé (*fig.* 75).

Ces nouveaux déplacements horizontaux correspondent, comme ceux du Cannet, à la torsion et au changement de direction du pli.

Quant à l'origine de ces recouvrements, elle est indiquée bien nettement par la continuité de ces collines avec les masses triasiques de Bras; l'Infralias, qui en forme la base vers le sud, se trouve, au nord, superposé au Muschelkalk (par suite de l'étirement des Marnes irisées), et ce Muschelkalk, par Roulane, se suit jusqu'au-dessus de Bras. C'est donc la grande bande triasique, continuation déviée vers le nord du pli anticlinal de Brignoles, qui s'est déversée sur ce petit bassin crétacé. Les couches jurassiques et liasiques, qu'on voit encore à la Bastide Vaubelle former la retombée nord du pli, s'amincissent et s'écrasent à mesure que le pli tourne au nord : elles ont été *exprimées* en quelque sorte par la pression plus forte, due à la torsion du pli, et elles ont pu être charriées en avant, vers le nord-est d'abord, puis vers l'est, jusqu'au point où nous les trouvons aujourd'hui superposées au Crétacé.

Ainsi, malgré les différences très grandes des apparences produites, les complications du petit coin de Bras s'expliquent de la même manière que celles du Cannet : le pli, en tournant, s'est renversé, et sa partie supérieure a été traînée sur sa partie inférieure. Seulement, dans un cas, la surface suivant laquelle le pli s'est déchiré, et suivant laquelle a eu lieu le glissement, s'est trouvée placée plus bas que dans l'autre; si bien qu'au Cannet le flanc renversé est conservé, tandis qu'à Bras il n'existe pas. Nulle part, auprès de Bras, on ne trouve de termes renversés, même réduits, entre le Jurassique et le Crétacé; tandis qu'au Cannet, le Bathonien renversé a conservé toute son épaisseur.

Collines de recouvrement de Bras.

Une coupe, faite du nord au sud dans les collines de recouvrement de Bras, donnerait la figure ci-jointe (*fig.* 75). Elle peut sembler un peu étonnante, même après que l'existence du pli couché a été démontrée et admise, à cause de la variation rapide des étages jurassiques qui s'y montrent en contact avec le

Crétacé. L'idée de continuité dans les phénomènes semble mal satisfaite par cette cuvette jurassique, dont le fond est coupé par la ligne de superposition. Mais il faut se rappeler que la ligne de coupe représente à peu près la corde de l'arc décrit par le pli; par conséquent, qu'au milieu on se trouve plus éloigné du noyau du pli, et qu'il est alors tout naturel d'y trouver la série de recouvrement débutant par des étages plus récents. La coupe, telle qu'elle se présente, peut se concilier avec une identité presque absolue de toutes les coupes menées normalement au pli.

Plus au nord, les affleurements crétacés disparaissent et, par conséquent, avec eux toute trace observable de la continuation des mêmes phénomènes. Il me semblait probable que cette disparition était due à la dénudation de la cuvette synclinale, qui pouvait même arriver à n'être plus représentée que par

Fig. 75. — Coupe au sud de Bras.
(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XVII, 1888-89, p. 245.)

1. Trias; 2. Infralias; 3. Bathonien; 4. Jurassique supérieur; 7. Couches de Fuveau à *Cyrena galloprovincialis*; 8. Sables et argiles rouges (Crétacé supérieur); 9. Poudingues; 10. Calcaires lacustres tertiaires.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000 environ.

une ondulation du Trias; mais une étude récente, faite en commun avec M. Zürcher, vient de me montrer que c'est avec le Crétacé du Val que se reliait, de part et d'autre, celui de Bras, et que le pli anticlinal tourne complètement, et sans erreur possible, autour de ce bassin.

Il faut aussi remarquer que la coupe donnée suppose la concordance des terrains crétacés et des terrains tertiaires de Bras. Ces terrains tertiaires, d'après l'étude provisoire que M. Vasseur a faite de leur faune, ne pourraient guère permettre d'hésitation qu'entre l'Aquitanien et le Langhien; l'examen stratigraphique plus complet que je viens de faire de leurs relations, à Fabrègues et à Brue-Auriac, m'a prouvé que leur concordance apparente n'était qu'accidentelle aux points où ils occupent le fond des anciens synclinaux, mais que partout ils débordent sur les flancs de ces synclinaux, et reposent alors nettement sur les tranches des étages plus anciens. Ils sont donc postérieurs aux grands mouvements de la région, et les pointements triasiques ou jurassiques qu'on voit surgir au milieu de leurs affleurements sont bien des récifs, des saillies du fond du bassin et nullement des îlots de recouvrement.

Nouvelle inflexion du pli vers l'est. Réapparition des terrains

Au nord des affleurements crétacés que je viens de décrire, le Trias se trouve un moment en contact avec les dolomies du Jurassique supérieur, puis, à mesure que les couches s'infléchissent vers l'est, tous les termes de la série sup-

supprimés, et même de plis secondaires.

primée reparaissent entre eux. Par une complication bien remarquable, *ils reparaissent même plusieurs fois;* l'étirement, près de Bras, avait supprimé non seulement la série normale, mais encore deux plis secondaires, qui se suivent de là pendant plus de 5^{km} jusqu'auprès de Miraval. Ces plis sont d'abord, comme le pli principal, renversés vers le sud, et très inégalement étirés, si bien qu'en partant du Trias on rencontre en certains points la série : Infralias, Lias, Bajocien, Bathonien, puis retour du Bajocien et du Lias, auxquels font suite, après une nouvelle alternance, les grands escarpements de Bathonien marneux, tandis qu'en d'autres la suppression plus ou moins complète d'un nombre quelconque de termes, dans l'un quelconque des plis, semble donner lieu à une succession tout à fait arbitraire et fantaisiste dans les termes de la série jurassique.

Ces plis secondaires, plus ou moins étirés, tournent avec le pli principal.

Une fois qu'on s'est convaincu de l'existence des trois plis, le rôle des étirements apparaît avec évidence et la régularité avec laquelle ils dessinent tous trois leur inflexion concentrique autour de l'extrémité du bassin de Val, fait de ce coin (au nord du Brusquet) un des points les plus instructifs de tout le pays, un de ceux où la torsion des plis se montre le plus nettement et sans aucune contestation possible.

Vers l'est, les plis secondaires augmentent d'importance et se renversent, avec suppression du flanc renversé, sur le bassin crétacé du Val.

A Doumet, les plis secondaires sont devenus des plis droits, et le grand pli seul est renversé (coupe, *fig.* 76); mais plus à l'est, les plis secondaires augmentent d'importance; le plus méridional, à partir de la Grande Bastide, se renverse sur les couches supérieures du Crétacé, et par suite de ce renversement, toute la série jurassique, si puissamment développée au signal de Bras, s'étire

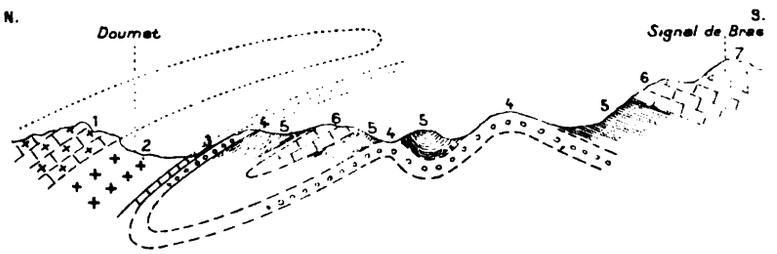


Fig. 76. — Coupe de la branche nord du pli de Brignoles, par Doumet.

1. Muschelkalk; 2. Marnes irisées; 3. Infralias; 4. Lias et Bajocien; 5. Bathonien marneux; 6. Bathonien calcaire; 7. Dolomies.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000.

et disparaît, de manière que l'Infralias non renversé repose directement sur le Crétacé. Un fait très remarquable, et qui exigerait une longue description de détail, c'est la rapide terminaison de ces plis secondaires, qui déjà au Val ne semblent plus exister, car là c'est le pli principal, suivi sans interruption depuis Bras, qui est directement couché sur les couches de Rognac, et qui a même laissé semés à leur surface quelques îlots de dolomies supérieures. Dans toute la

vallée du Caramy, jusqu'au confluent de l'Issole, le même phénomène se reproduit : les plis successifs viennent se terminer comme en biseau contre les sables crétacés, et partout les collines qu'ils forment montrent une série de bancs renversés, depuis le Bathonien jusqu'à l'Infralias, avec un pendage assez faible vers le nord (*fig.* 77).

Le pli principal, à Peygros, passe par-dessus ces plis secondaires et va lui-même recouvrir le Crétacé.

En approchant du Thoronet, à Peygros, le pli principal, toujours bien marqué par la ligne des affleurements triasiques, vient étendre par-dessus ces plis secondaires et par-dessus le Crétacé lui-même une large nappe de recouvrement, dont la signification serait sans doute restée longtemps inexpliquée, si l'exemple de la Bouissière, décrit plus loin, n'était venu, sur une moindre échelle il est vrai, mais aussi avec une netteté plus grande, faire la lumière sur ce nouvel

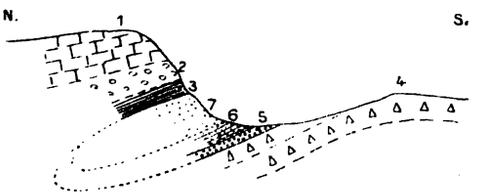


FIG. 77. — Coupe à Vins.

1. Infralias; 2. Lias; 3. Bathonien; 4. Dolomies; 5. Bauxite; 6. Couches à Cyrènes; 7. Sables rouges crétacés (niveau de Rognac).

Échelle des longueurs = 1 : 20 000.

élément de complication dans les grands plis couchés. A Peygros, toutes les collines qui dominent la ferme sont formées d'Infralias horizontal; au pied de de cet Infralias, on trouve des lambeaux de Bathonien renversé, reposant sur les sables crétacés et sur la Bauxite. L'Infralias du sommet *est continu* avec celui qui, 3^{km} au nord, accompagne le Trias et forme la retombée du grand pli, et un pli secondaire, celui qui plus à l'ouest, à la Gagère, borde le bassin crétacé, a ses affleurements brusquement interrompus par la nappe de recouvrement. Celle-ci n'arrive à reposer sur le Crétacé qu'après avoir passé sur la tête des plis secondaires, dont les ondulations n'englobent pas de terrains plus récents que le Lias et le Bathonien (*fig.* 78).

Le déplacement horizontal est d'au moins 3^{km} vers le sud.

Le détail de ces superpositions compliquées reste à étudier dans les différentes coupes successives du pli, et il est possible qu'entre le Val et Peygros on retrouve quelques autres témoins de cette nappe de recouvrement, charriée, non pas comme dans les exemples précédents, au-dessus d'un bassin crétacé à surface plane et horizontale, mais au-dessus d'une série de plis qu'elle semble avoir rasés. En tout cas, dans l'état actuel des études faites pour la Carte, le promontoire de Peygros en est la seule partie connue avec certitude, le reste aurait été enlevé par la dénudation. Mais il est évident que cette nappe, témoignant d'un mouvement horizontal d'au moins 3^{km}, est le produit d'un phéno-

mène d'ensemble, et qu'elle devait primitivement s'étendre assez loin à l'est aussi bien qu'à l'ouest.

Sur le bord sud du bassin crétacé, la Bauxite repose directement sur le Bathonien. La disparition des dolomies semblerait due à un nouveau glissement.

Une autre particularité de ces coupes, que je me contente de signaler, c'est que sur le bord sud du bassin, depuis Vins jusqu'au Thoronet, le Jurassique plonge doucement et avec une grande régularité apparente sous la Bauxite et le Crétacé, et que pourtant le Jurassique supérieur fait défaut; la Bauxite repose directement sur les calcaires bathoniens. Il est difficile de croire que les dolomies du Jurassique supérieur, qui existent tout à l'entour, ne se soient pas déposées en ce point, et rien n'indique des dénudations antécrétacées. On se

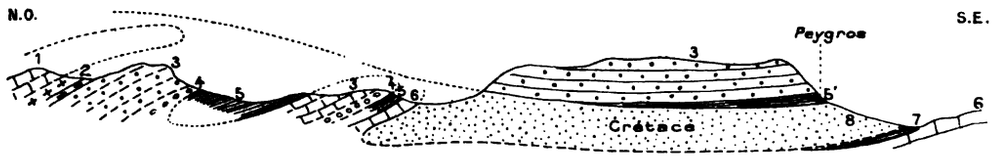


Fig. 78. — Coupe du pli de Brignoles à Peygros.

1. Muschelkalk; 2. Marnes irisées; 3. Infralias; 4. Lias; 5. Bathonien marneux; 5'. Bathonien renversé et étiré; 6. Bathonien calcaire; 7. Bauxite; 8. Crétacé;

Échelle des longueurs = 1 : 20 000.

demande donc, surtout en présence de l'exemple voisin du Cannet-du-Luc, si ce n'est pas un glissement, dans le flanc inférieur du pli, qui aurait fait disparaître le Jurassique supérieur.

Les deux branches du pli se perdent à la fois, dans les ondulations du Permien et du Trias.

De même que la branche sud du pli se perd dans les ondulations de la plaine permienne, la branche nord se perd dans celles du Trias de Lorgues et de Draguignan, et les accidents si remarquables du pli de Brignoles se trouvent isolés au milieu des affleurements continus des terrains plus anciens, Trias et Permien, comme si le pli décrivait lui-même une courbe complètement fermée; mais si la manière dont cette courbe se ferme à Bras est un fait d'observation bien certain, la manière dont elle se fermerait au Cannet est hypothétique, et tout ce qu'on peut affirmer, c'est que le pli, là où il est nettement accusé par les affleurements, se compose de deux branches repliées l'une sur l'autre et comme accolées dans tout leur parcours.

Avant d'aborder l'étude du quatrième grand pli, celui de Salernes, je dirai quelques mots d'un pli secondaire, qui prend naissance à l'intérieur de la vaste sinuosité décrite par ce dernier, et qui, malgré sa longueur relativement faible, a donné lieu à des déplacements horizontaux importants.

6° Le pli d'Esparron.

Bassin crétacé d'Esparron, dirigé de l'est à l'ouest, et limité par deux bandes nord-sud de Trias.

A l'est de Rians s'étend, de l'ouest à l'est, à la hauteur moyenne de 400^{m}, une plaine remplie par des marnes et sables rougeâtres, que l'association et la superposition aux calcaires fossilifères de Rognac me semblent devoir faire ranger dans le Crétacé le plus supérieur (1). Cette plaine, de 2^{km} de largeur, bordée au nord et au sud par des collines jurassiques qui la dominent de 200^{m} dans leurs plus hauts sommets, marque évidemment la place d'un bassin synclinal, dont la position est certainement faite pour exciter la surprise. A l'est et à l'ouest, ce Crétacé vient se heurter contre deux bandes de Trias, celle de Rians et celle de Saint-Maximin, d'inégale largeur, mais toutes deux dirigées du nord au sud, perpendiculairement, par conséquent, à la plaine crétacée. Le fait semble d'autant plus extraordinaire que si l'on prolonge la direction de cette plaine au delà des deux bandes triasiques qui la barrent brusquement, on retrouve de part et d'autre, à l'est comme à l'ouest, deux bassins crétacés également allongés dans la direction E.-O., et paraissant continuer celui d'Esparron; d'un côté c'est le bassin de Rians, qui borde le pied des dernières collines de la chaîne de Sainte-Victoire prolongée au N. E.; de l'autre, c'est le bassin de Salernes, qui se prolonge jusqu'auprès de Draguignan et que nous étudierons tout à l'heure. La première idée qui vient à l'esprit en observant cette disposition inattendue, c'est que les trois bassins crétacés, si remarquablement alignés sur une longueur totale de 50^{km}, forment un seul et même bassin, et que les traînées triasiques, qui semblent interrompre un moment cette continuité, n'ont pas de racine en profondeur, qu'elles sont superposées au Crétacé comme le Trias du Beausset. Mais il n'en est rien; j'ai déjà indiqué que le Trias de Saint-Maximin, aussi bien que celui de Rians, marquaient la trace de plis anticlinaux déviés et extraordinairement étirés sur les flancs de la partie déviée. La vérification peut s'en faire aux deux extrémités de la plaine d'Esparron; les travaux du chemin de fer, à Rians, ont mis à nu en deux points le contact du Crétacé et du Trias, et montrent que la surface de contact est verticale, comme on devait l'attendre d'une surface de torsion, suivant laquelle s'est fait un décrochement horizontal; et de l'autre côté, près de la Combe, des ravins profonds montrent les poudingues crétacés s'appuyant en bancs presque verticaux sur le Muschelkalk ou les Marnes irisées. De plus, quoique les deux bandes crétacées

(1) Ces sables pourraient pourtant aussi représenter l'Éocène inférieur, et c'est même l'opinion à laquelle s'est arrêté M. Collot dans la *Carte géologique détaillée* (feuille d'*Aix*). Les deux séries étant concordantes et déposées en continuité, la limite du Crétacé et de l'Éocène reste là, jusqu'à nouvel ordre, un peu arbitraire.

d'Esparron et de Salernes se rétrécissent beaucoup quand elles arrivent au contact du Trias, on peut suivre la continuation de l'une et de l'autre le long de la bande triasique : l'une se contourne vers le nord-ouest en allant se relier au petit bassin de Tavernes ; l'autre, au contraire, s'infléchit vers le sud-ouest. Les deux bandes, bien que se faisant face, semblent donc correspondre à deux plis synclinaux réellement distincts.

Le bassin crétacé d'Esparron est un synclinal secondaire, parallèle au bombement qui réunit les deux bandes triasiques.

Pour comprendre la signification du bassin crétacé d'Esparron, il faut se rappeler que la bande transversale du Trias, après s'être élevée au nord jusqu'à Varages et la Verdière (1), décrit une demi-circonférence, et va se contourner vers l'ouest comme pour aller rejoindre le Trias de Rians. Les deux bandes triasiques peuvent être même considérées comme reliées, en réalité, par le bombement de terrains jurassiques qui, dirigé de l'est à l'ouest, sépare les vallées de la Verdière et de la Vabre ; cette partie, où le pli anticlinal plus surbaissé semble s'interrompre, n'est même pas la moins instructive : en suivant, en effet, le bord du Trias entre les deux fermes de Vaubelle, on voit que les Marnes irisées sont surmontées presque horizontalement par la lumachelle infraliasique (à *Plicatula intusstriata* et à *Avicula contorta*), et celle-ci par les dolomies du Bathonien supérieur, sans interposition des étages intermédiaires. C'est bien une superposition, et non une faille, car le Bathonien forme un îlot entouré de tous côtés par l'Infralias ; les étages intermédiaires se sont pourtant déposés dans la région, car au nord et au sud on voit des bancs de Bajocien et de Bathonien inférieur, en partie écrasés et laminés, reparaître entre l'Infralias et les dolomies. Ainsi là, dans un système de couches légèrement bombées, sans qu'il y ait trace de renversements, sans qu'il y ait même une forte inclinaison des flancs, les suppressions de couches sont aussi importantes que sur les bords inversés d'un pli important et dissymétrique. La place du pli anticlinal se trouve mieux marquée par les étirements que par les pendages des couches.

Le pli anticlinal décrivant ainsi une demi-circonférence, le pli synclinal écrasé qui lui fait suite à l'ouest décrit concentriquement une courbe semblable ; de là l'origine de la plaine d'Esparron. Le pli synclinal s'épanouit tout naturellement : sa cuvette s'élargit et se régularise, quand il reprend la direction E.-O., puis, quand il s'infléchit de nouveau au sud-ouest le long du Trias de Rians, il s'étire, s'amincit, et arrive à s'écraser complètement.

Pli anticlinal qui borde au sud ce bassin crétacé ; son faible développement en direction ; déplacements horizontaux importants.

Le bassin crétacé d'Esparron, ainsi défini et expliqué, est bordé au sud par un pli anticlinal secondaire, qui dessine intérieurement une courbe parallèle aux deux précédentes (voir la Carte d'ensemble, *pl. I*), et qui présente ce double caractère intéressant de s'arrêter rapidement en direction et, dans son parcours limité, de se renverser fortement au-dessus du bassin d'Esparron, dont il recouvre les couches crétacées sur une largeur d'au moins 2^{km}.

(1) Voir la *Carte géologique détaillée de la France*, feuilles 235 (*Aix*) et 236 (*Draguignan*).

Coupe de la partie occidentale.

Dans la moitié occidentale, la coupe ne peut pas se rétablir encore avec une complète certitude; il y a deux hypothèses possibles, entre lesquelles les observations de M. Collot, qui a fait la Carte de la région, ne me paraissent pas permettre un choix définitif. La bordure jurassique, dans cette première moitié, c'est-à-dire entre Rians et Esparron, montre en contact avec le Crétacé les calcaires blancs du Jurassique supérieur; près de Rians ces calcaires ne sont pas renversés, mais ils le sont au signal d'Artigues, où ils plongent à plus de 45° sous l'Oxfordien; au col d'Artigues, et sous l'oratoire d'Esparron, la pente diminue et se rapproche de l'horizontale; mais là, les calcaires blancs ne sont plus renversés; dans le ravin qui s'ouvre à l'est de la route d'Artigues, on peut voir les différentes zones de l'Oxfordien plonger sous ces calcaires, en formant un petit bombement secondaire en avant de la ferme de Pilhaud. Or, entre les couches renversées et les couches non renversées, il n'existe pas de point où les

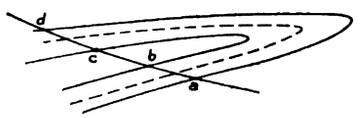


Fig. 79.

couches soient verticales, ce qui ne peut guère s'expliquer (*fig.* 79) que si l'on est passé, près de la boucle d'un pli couché, du flanc inférieur au flanc supérieur, de la partie *ab* à la partie *cd*. Ce passage est d'autant plus vraisemblable qu'il y a là une torsion du pli : les marnes oxfordiennes, avant d'atteindre la route d'Artigues, se contournent autour de la colline bathonienne sous laquelle, à l'ouest, elles étaient renversées; dans ce mouvement, elles se redressent d'abord verticalement, puis s'étirent et disparaissent.

Existence de trois lambeaux crétacés au milieu des terrains jurassiques.

Dans la continuation vers l'ouest de cette ligne d'étirement, on rencontre d'une manière tout à fait inattendue, au sud des Coquithals et au nord des Bellons, deux lambeaux, larges seulement de quelques mètres carrés, de marnes et de grès rouges, avec galets siliceux et ossements de Reptiles, c'est-à-dire des mêmes terrains crétacés qui forment la plaine d'Esparron.

La ligne qui ramène ces lambeaux crétacés est certainement une ligne de faille, puisqu'elle les met en contact au nord avec le Bathonien et l'Oxfordien, mais cette faille peut n'être que la ligne d'étirement du pli tordu, comme auprès de Simiane, jusqu'au rebroussement ; ou bien elle peut être une faille d'affaissement postérieur. Dans le premier cas, la coupe par le signal d'Artigues (*fig.* 80) rencontrerait deux fois le pli (et devrait même le rencontrer trois fois, s'il n'y avait pas eu étirement); elle donne l'apparence de deux plis qui se succèdent, couchés dans le même sens, avec

suppression complète du flanc non renversé du premier pli. Dans le seeond cas, il n'y aurait qu'un seul pli, dénivelé par une faille postérieure (*fig.* 81), et, par suite, pénétration beaucoup plus profonde du Crétacé sous le Jurassique.

L'un d'eux plonge nettement sous la série jurassique étirée et renversée.

En tout cas, pour celui de ces deux lambeaux que j'ai eu l'occasion d'étudier personnellement, celui du nord des Bellons, on peut constater sans ambiguïté qu'il est surmonté au sud, presque horizontalement, par toute la série, *ren-*

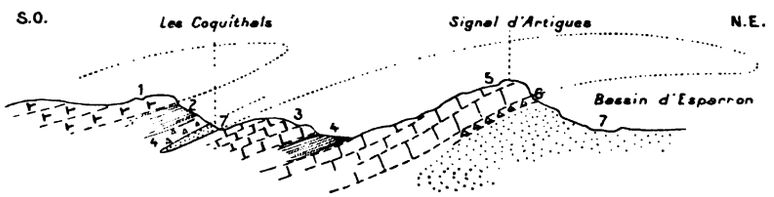


FIG. 80. — Coupe des Coquithals au bassin d'Esparron (Première hypothèse).

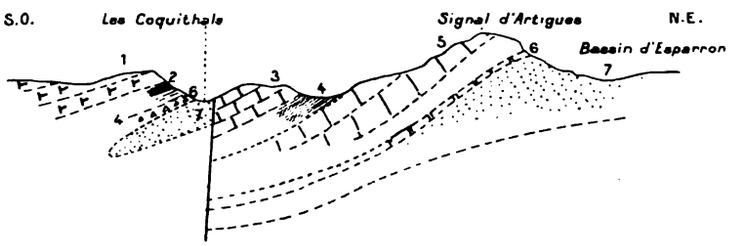


FIG. 81. — Coupe des Coquithals au bassin d'Esparron (Deuxième hypothèse).

LÉGENDE COMMUNE AUX FIGURES 80 ET 81 :

1. Infralias;
2. Bathonien marneux;
3. Bathonien calcaire;
4. Oxfordien;
5. Calcaire à *Ammonites subfasciculatis*;
6. Calcaires blancs et dolomies;
7. Sables crétacés.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000.

versée et étirée, du Jurassique jusqu'à l'Infralias; les affleurements sont très nets et fossilifères dans le petit chemin qui monte aux Bellons; les dolomies

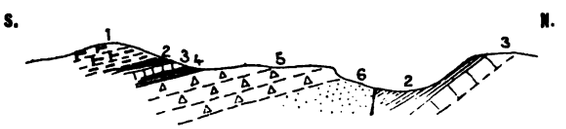


FIG. 82. — Coupe prise au nord des Bellons.

1. Infralias;
2 et 3. Bathonien;
4. Oxfordien;
5. Jurassique supérieur;
6. Sables crétacés à débris de Reptiles.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000.

supérieures occupent dans un petit bois un affleurement encore assez large, sans qu'on puisse bien juger de leur épaisseur; mais toute la série intermédiaire, jusqu'à l'Infralias, ne compte plus qu'une trentaine de mètres (*fig.* 82). L'In-

fralias qui descend vers les Bellons représente la retombée normale du pli et n'est plus renversé.

Un second plonge vers le sud sous des dolomies, auxquelles est superposée la série jurassique non renversée.

En suivant vers l'est, par Pilhaud, la ligne de ces deux premiers affleurements crétacés, ainsi isolés au milieu du Jurassique, on en rencontre un troisième, à 1^{km} environ de Pilhaud, au pied d'une colline qu'un pin plus élevé permet de repérer et de reconnaître de loin. La connaissance de ces trois affleurements est due à M. Collot, qui les attribue seulement à l'Éocène inférieur, ainsi que tous les terrains de la plaine d'Esparron. Ces terrains plongent là, avec une pente très faible et une superposition visible sur plusieurs mètres, sous des dolomies que M. Collot attribue à l'Infralias, mais qu'on pourrait aussi rapporter au Jurassique supérieur (*fig.* 83). Les dolomies, exactement semblables d'aspect,

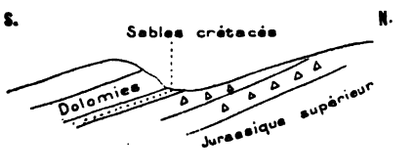


Fig. 83. — Coupe à l'est de Pilhaud.

Échelle des longueurs = 1 : 20000.

qui forment la pente des coteaux situés au nord, appartiennent certainement, en tout cas, à ce niveau supérieur, d'après une Ammonite que M. Collot y a rencontrée. L'âge de ces dolomies superposées au Crétacé, qui sont, d'ailleurs, surmontées par le Bajocien et le Bathonien, n'a au fond qu'une importance très secondaire; il y a là, de toute façon, l'indice d'un pli couché; la seule différence serait que dans un cas le flanc renversé serait complètement supprimé, et que dans l'autre cas ce flanc renversé serait représenté par une épaisseur plus ou moins grande de dolomies supérieures.

L'interprétation par un double pli est possible.

Là encore, nous nous trouvons en face de deux interprétations possibles: l'existence de deux plis (*fig.* 84) ou d'un seul pli dénivelé par une faille (*fig.* 85). Mais la première de ces hypothèses devient bien plus difficilement admissible, car ici on est sorti de la zone de sinuosité du pli. Il faudrait donc admettre un pli secondaire, prenant naissance dans la sinuosité du premier; mais comme celui-ci rejoint le bassin crétacé à Esparron, ce pli secondaire serait limité à une si faible longueur et serait si brusquement interrompu de part et d'autre, que son existence est tout à fait invraisemblable. La preuve que ce pli serait, lui aussi, un pli couché, est donnée, en dehors de l'allure générale du contact du Crétacé et du Jurassique, par la présence de marnes rouges crétacées, mises au jour sous les calcaires blancs jurassiques dans les fossés de la route qui monte au col d'Artigues.

Il est plus probable que ces lambeaux se relient, par-dessous

Ainsi, l'interprétation des trois lambeaux crétacés qui s'échelonnent des Coquithals à Pilhaud, nous conduit à admettre une pénétration du Crétacé

les collines de bordure, au Crétacé du bassin principal.

A Esparron, l'Infralias arrive en contact direct avec le Crétacé, et le recouvre.

sous le Jurassique d'au moins 2^{km}. Les faits sont plus nets encore et les conséquences plus directes à l'est d'Esparron.

A Esparron, la bande d'Infralias qu'on suit depuis les Bellons, séparée du Crétacé par une série de termes jurassiques plus récents, arrive directement au contact du Crétacé. D'après ce qui précède, toute la masse dolomitique qui

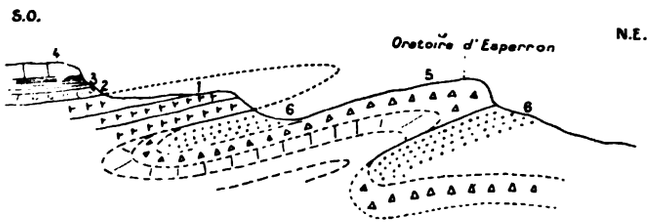


Fig. 84. — Coupe passant par l'Oratoire d'Esparron (première hypothèse).

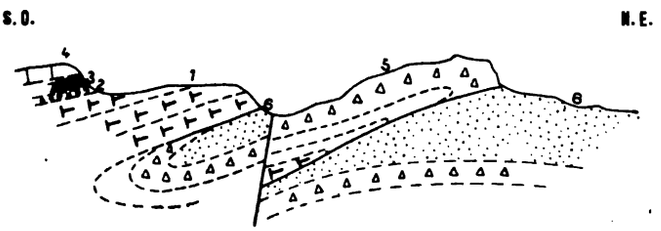


Fig. 85. — Coupe passant par l'Oratoire d'Esparron (deuxième hypothèse).

LÉGENDE COMMUNE AUX FIGURES 84 ET 85 :

1. Infralias ; 2. Bajocien ; 3 et 4. Bathonien ; 5. Jurassique supérieur ; 6. Crétacé.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000.

constitue, avec quelques calcaires blancs, les collines de l'Oratoire Saint-Jean et du signal voisin, masse qui est abaissée par rapport à l'Infralias, serait en recouvrement sur le Crétacé. L'Infralias a toujours son léger plongement vers le sud ; les grès et marnes rouges qui sont à ses pieds, s'enfoncent sous lui, comme le montre la sinuosité de la ligne d'affleurement et sa pénétration dans les anfractuosités des vallons. La coupe est la continuation et la reproduction de celle des Bellons (*fig.* 86), avec cette différence que les termes amincis et

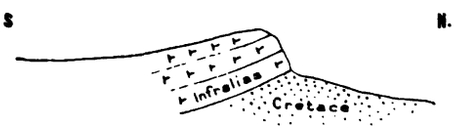


Fig. 86. — Coupe prise au sud d'Esparron.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000.

étirés sont ici tout à fait supprimés. La place actuelle de la falaise infraliasique n'est d'ailleurs déterminée que par les actions de dénudation, et il est presque

évident, *a priori,* que le recouvrement d'Infralias s'avançait plus loin vers le nord.

Trou dans l'Infralias, faisant apparaître le Bathonien renversé.

On a une limite minima de la largeur du recouvrement actuel par les affleurements de la Bastide de Valensole. Là, au milieu du plateau formé par les dolomies de l'Infralias, une petite dépression fait apparaître les marnes vertes et les calcaires à *Avicula contorta* de la base de l'étage; quelques assises appartenant au Trias supérieur les accompagnent. Ce n'est là qu'un fait normal et conforme à ce qu'on pouvait prévoir. Mais, à côté de ce Trias, affleurent des marnes bathoniennes, sur une largeur de quelques dizaines de mètres, et sur une longueur de plus de 1^{km}, ainsi isolées, en contact avec du Trias, au pied de collines formées d'Infralias. Il semble d'abord qu'on puisse seulement songer à un affaissement local, qui aurait enfoui ces marnes bathoniennes à une centaine de mètres au-dessous de leur niveau primitif. Mais cette explication doit être rejetée, car les marnes bathoniennes s'enfoncent sous l'Infralias. Après toutes les explications déjà données dans ce Mémoire, cette anomalie apparente devient facile à interpréter. A mesure que le Crétacé s'enfonce sous l'Infralias et qu'on se rapproche de la charnière synclinale du pli, la série des termes renversés qui forme le flanc inférieur du pli doit reparaître et tendre à se compléter entre le Crétacé et l'Infralias, comme nous l'avons vu aux Bellons. L'affleurement lenti-

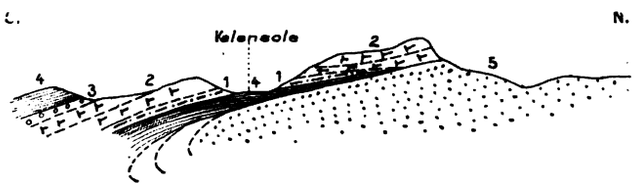


Fig. 87. — Coupe passant par la Bastide de Valensole.

1. Couches à *Avicula contorta;* 2. Infralias; 3. Bajocien; 4. Bathonien; 5. Sables crétacés.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000.

culaire de marnes bathoniennes, qui se montrent là dans les conditions où pourrait se montrer un étage inférieur à l'Infralias, n'est qu'un *regard* ouvert sur cette partie inférieure et renversée du pli. Un puits creusé dans ces marnes bathoniennes rencontrerait au-dessous d'elles le Crétacé (*fig.* 87).

Ilots de recouvrement à l'est du bassin. Déplacement horizontal de 3^{km}.

D'ailleurs, un peu plus à l'est, auprès des Palières, ces termes renversés se montrent au pied de la falaise infraliasique, entre elle et la plaine crétacée. Là, de plus, on peut recueillir des renseignements précis sur l'étendue du recouvrement primitif : trois des mamelons de la plaine crétacée sont couronnés par des calcaires jurassiques (au-dessus de la Plane, de Tréconal et de Laval). Ces trois îlots superposés au Crétacé permettent de reconstruire assez exactement la coupe primitive; car le premier, le plus voisin du noyau du pli, est formé de Bathonien et d'Oxfordien, tandis que le dernier, le plus éloigné au nord, est

formé de dolomies et de calcaires blancs. Cet îlot, celui de Laval (*fig.* 88), correspondrait ici à la même partie du pli que les dolomies et calcaires blancs de l'Oratoire Saint-Jean d'Esparron. On voit que le recouvrement, et par conséquent le déplacement horizontal, a été dans cette partie d'au moins 3^{km}.

Rapide terminaison du pli couché, sans relèvement vertical des couches.

Ce qui est bien remarquable, c'est qu'à ce point même où nous avons la preuve conservée de son large déroulement horizontal, le pli semble disparaître et s'arrêter brusquement. L'affleurement de la tête du pli est, en effet, marqué par les affleurements de l'Infralias; or, la bande d'Infralias, que nous suivons depuis les Bellons, cesse à l'est du signal des Palières, enveloppée complètement par les calcaires à silex du Bajocien; ceux-ci sont enveloppés à leur tour, de la

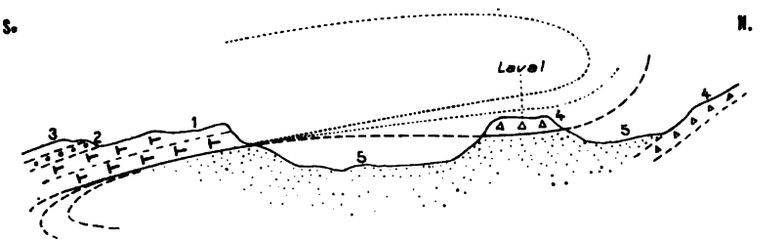


Fig. 88. — Coupe du lambeau de recouvrement de Laval.

1. Infralias; 2. Bajocien; 3. Bathonien; 4. Jurassique supérieur; 5. Crétacé.

Échelle des longueurs = 1 : 40 000.

même manière, par le Bathonien marneux, puis par le Bathonien calcaire, dont les bancs subsistent seuls sur les pentes boisées qui descendent à l'est et au sud, vers les Annelles et Brue-Auriac. En face de cet affleurement uniforme de calcaires bathoniens, on est amené naturellement à conclure que le pli ne se continue pas de ce côté, et comme de tous les autres on est limité par le Crétacé ou par le Tertiaire, il en résulterait que le pli ne se continue pas du tout, ce qui, pour un pli dont le déversement horizontal est de 3^{km}, est *mécaniquement* impossible. L'explication, comme je l'ai déjà dit pour le massif d'Allauch, c'est que le pli se continue *sous* les affleurements bathoniens. Le bassin crétacé se contourne vers le sud, puis vers le sud-est; donc le pli anticlinal qui l'accompagne doit se contourner dans le même sens; il ne peut cesser immédiatement d'être un pli couché; donc le Bathonien des Annelles est replié sur lui-même, *gedoppelt* comme disent les Allemands, et au moins sur une certaine longueur il reste couché sur le Crétacé; mais ce dernier, sur le chemin de Brue-Auriac, est bientôt masqué par les terrains tertiaires discordants.

Ilot de recouvrement bathonien au nord-ouest du bassin crétacé; il correspond probablement à la torsion d'un autre pli secondaire.

Pour terminer ce qui est relatif au bassin d'Esparron, je signalerai encore, à l'angle nord-ouest du bassin, un autre fait de recouvrement, mais provenant de la falaise opposée. Les calcaires blancs du Jurassique supérieur qui, au-dessus de Castillon, forment cette falaise, arrivent, en s'approchant du signal de Mont-Major, à se redresser verticalement, à se renverser et à disparaître par

étirement; en ce point, ce sont alors les calcaires de l'Oxfordien supérieur qui se montrent renversés sur les couches de Rognac. Or, juste en face de ce point, au même niveau, la colline de la Blanque, dont le pied est formé de tous les côtés par les sables crétacés, est couronnée d'un chapeau horizontal des mêmes calcaires. Il y a donc eu, là encore, un charriage de 1^{km} environ; mais je n'ai pas assez étudié les environs pour pouvoir essayer de suivre, d'après la carte de M. Collot, le pli auquel il se rattache, ni pour dégager son rôle dans la structure du pays. Sauf le pli d'Esparron, qui, une fois la clef donnée, est relativement simple, les environs de Rians réclameraient encore une étude prolongée.

7° Le pli de Salernes.

Au nord du pli de Brignoles, dans toute la région qui s'étend entre Draguignan et la bande triasique de Saint-Maximin, on traverse, sur 8^{km} à 10^{km}, un pays accidenté de collines peu élevées, sans orientation apparente, et qui sont formées en majeure partie de Trias et d'Infralias. Au milieu des ondulations répétées de leurs couches, ou, si l'on veut, de la série de plis qui s'y succèdent, il serait difficile d'en définir un en l'isolant des autres. Mais le pli de Salernes, malgré ces nombreux froissements secondaires, est nettement défini par le bassin crétacé sur lequel il se renverse. Il ne conserve d'ailleurs son individualité que jusqu'à la grande bande triasique nord-sud, dans laquelle il va se fondre

Ce pli est surtout bien accusé entre Barjols et Lorgues.

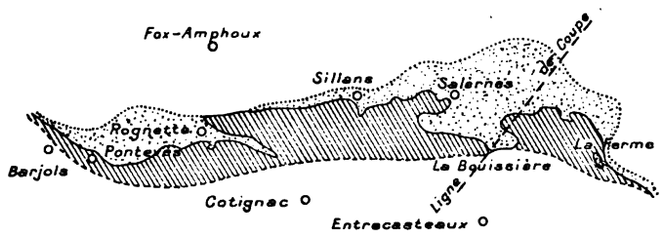


FIG. 89. — Carte du bassin crétacé de Salernes, avec sa bande de recouvrement (partie barrée).
(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XVII, 1888-89, p. 235.)
Échelle = 1 : 320 000.

à Barjols, et au delà de laquelle il ne se continue pas, du moins avec la même importance. Du côté de l'est, à partir de Lorgues, il se contourne vers le nord et revient sur lui-même, en formant le pli d'Aups, renversé en sens inverse, c'est-à-dire vers le sud.

Le bassin crétacé de Salernes présente les contours sinueux qu'indique la carte ci-jointe (*fig.* 89). Les affleurements qui le composent ont été longtemps

Bassin crétacé de Salernes, sur lequel il se renverse.

considérés comme formant une série de bassins isolés, déposés en discordance et représentant le fond d'une suite de lacs distincts, disséminés irrégulièrement au milieu des collines jurassiques. Les études de M. Zürcher ont prouvé que ces affleurements se reliaient entre eux, et qu'ils représentent les restes de l'extension vers l'est du grand lac de Fuveau et de Rognac; mais, même quand ce résultat a été acquis, l'irrégularité des terrains qui limitent ces couches a semblé d'abord, même en donnant une large part aux failles, ne pouvoir s'expliquer que par des discordances locales. La série des couches crétacées, concordante à l'ouest avec le Jurassique, serait ainsi discordante avec lui quand on s'approche de Draguignan. Les mouvements du sol, dans ces deux régions si voisines, ne seraient pas de même âge; la surface des couches jurassiques aurait été bouleversée ou au moins ravinée après émersion à l'est, tandis qu'elle restait plane et horizontale à l'ouest. Le fait en lui-même n'aurait rien d'impossible, mais il n'est pas exact : une étude plus attentive a montré que toutes les irrégularités observées dans le contact des terrains crétacés et jurassiques peuvent s'expliquer par l'existence d'un grand pli couché.

Lacune de toute la série crétacée jusqu'au Danien.

Il y a pourtant une grande différence dans les conditions de dépôt des couches crétacées, par suite de la lacune des terrains crétacés inférieurs, et même du Sénonien. La mer crétacée n'a pas pénétré dans cette région de Salernes, pas plus d'ailleurs qu'elle ne l'a fait dans le nord du bassin de Fuveau, ni dans le bassin d'Esparron. Les seuls représentants du Crétacé sont des sables et grès rougeâtres contenant des débris de Reptiles à Fox-Amphoux, et montrant des intercalations calcaires que les fossiles, d'ailleurs peu abondants (Cyclophores), ont permis de rapprocher des couches de Rognac, c'est-à-dire de la partie supérieure du système de Fuveau. En quelques points, notamment au sud de Salernes, on trouve à la base de ces grès un conglomérat bréchoïde, avec quelques cailloux quartzeux de provenance lointaine, mais presque uniquement formé de blocs et de débris arrachés aux dolomies voisines. L'absence des dépôts crétacés intermédiaires devant être sans doute attribuée à l'existence d'un haut fond, il n'est pas étonnant que quelques parties des dolomies jurassiques aient pu être émergées sur les bords du lac de Rognac; la présence des galets dolomitiques rend en tout cas le fait indubitable, mais ce qui n'est pas moins certain, c'est que ces émersions, probablement par suite de la faible courbure des surfaces exondées, n'ont pas créé de discordances dans la série des dépôts. Nulle part les couches de Rognac ne reposent sur les tranches de terrains plus anciens; nulle part même, elles ne reposent sur d'autres bancs que les bancs les plus récents du système jurassique. La transgression des couches de Rognac n'a été précédée ni de mouvements violents du sol, ni de dénudations observables; quoique présentant des lacunes, la série a été uniforme et régulière dans la région, et c'est seulement par des *mouvements postérieurs* qu'on doit expliquer ses irrégularités apparentes.

Conglomérat de base.

Quand on examine les bords du bassin de Salernes, tels que les représente la petite carte ci-jointe (*fig.* 89), on trouve qu'au nord, suivant la ligne pointillée, les couches reposent normalement sur les dolomies du Jurassique supérieur, et en quelques points seulement, du côté de l'ouest, sur les calcaires blancs, qui en sont un facies latéral. Au sud, au contraire, ce sont des terrains plus anciens, et le plus souvent l'Infralias, qui bordent le bassin.

Superposition régulière au nord du bassin.

Falaise de terrains plus anciens qui le borde au sud.

Ce n'est pas là le résultat d'une faille, ou au moins d'une faille verticale; car aux points où les vallées ont attaqué assez profondément la petite falaise de bordure, les mêmes couches rouges se retrouvent au fond de ces vallons, de sorte que la ligne de leurs affleurements dessine des anses sinueuses. En un point même, à la Ferme, après avoir gravi et franchi la falaise jurassique, qui, là d'ailleurs, est peu élevée, on se trouve en face d'une petite plaine cultivée, complètement isolée au milieu des coteaux boisés jurassiques, et dont le fond est formé par les mêmes marnes rouges, avec quelques bancs de calcaires de Rognac. Ces irrégularités du contour, ces anses sinueuses, cette enclave isolée, sont autant d'indices qui peuvent, par analogie avec les exemples précédents, faire présumer que le Jurassique est, en réalité, *superposé au Crétacé*.

Pénétration du Crétacé dans les vallées; îlot isolé de la Ferme.

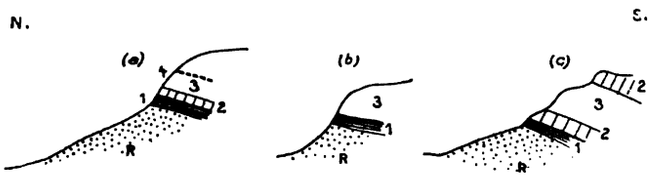


FIG. 90. — Trois coupes prises sur la bordure méridionale du bassin de Salernes.
(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XVII, p. 236.)

R. Couches de Rognac (Crétacé supérieur).

1. Bathonien;
2. Calcaires à silex (Bajocien);
3. Infralias;
4. Couches à *Avicula contorta*;

(*a*) Salernes; (*b*) Rognette; (*c*) Pontevès.

Mais, de plus, en suivant la bordure, on constate presque partout la présence d'un liséré intermittent de terrains renversés. La figure ci-jointe (*fig.* 90) montre les coupes observées près de Salernes (*a*), près de Rognette (*b*), et près de Pontevès (*c*) au nord de la grande route. Dans la première, les calcaires marneux du Bathonien, réduits à quelques mètres, sont surmontés par les calcaires à silex du Bajocien; au-dessus viennent une dizaine de mètres de dolomies infraliasiques, supportant les couches à *Avicula contorta*. Par-dessus cette petite bande se développe la série non renversée des mêmes couches, où les dolomies de l'Infralias à elles seules comptent 80^{m} de puissance. A Rognette, ce sont seulement quelques bancs froissés de marnes bathoniennes qui s'intercalent entre le Crétacé et l'Infralias. A Pontevès, au-dessus des mêmes marnes bathoniennes, également rudimentaires, on voit, dans une falaise de 30^{m} de hau-

Présence d'un liséré intermittent de terrains renversés.

teur, les dolomies infraliasiques comprises entre deux bancs de calcaires à silex bajociens.

Le Jurassique est superposé au Crétacé.

Ces bandes de terrains renversés sont, comme je l'ai déjà expliqué plusieurs fois, une preuve certaine de l'existence d'un pli couché, et, par conséquent, de la pénétration plus ou moins profonde du Crétacé sous le Jurassique. D'ailleurs, près de la route de Fox-Amphoux à Cotignac, à l'est des Muets, une petite déchirure récente montre sur près de 2^m la superposition, suivant une ligne presque horizontale, de l'Infralias sur les grès rouges.

Éboulements le long de la falaise superposée aux sables crétacés.

La petite bande de terrains renversés n'existe pas partout, et là où elle existe, elle n'est pas toujours visible, non seulement à cause de la végétation, mais par suite des éboulements et des glissements qui ont une importance considérable le long de ces petites falaises. Ils sont ici particulièrement fréquents, à cause de la nature meuble et sableuse du substratum. Tantôt il ne s'agit que de blocs isolés, comme c'est le cas pour les blocs de grès dans la forêt de Fontainebleau, ou pour les blocs de meulière le long des collines de Damery, près d'Épernay. Mais parfois aussi, des lambeaux entiers de couches ont glissé sur d'assez grandes étendues et donnent l'illusion de couches en place; elles se présentent alors avec les inclinaisons les plus variées, souvent verticales, et peuvent paraître ainsi jalonner une ligne de dislocation. L'apparence chaotique de ces talus d'éboulement, comparée à l'allure horizontale des couches du plateau, permet le plus souvent de reconnaître immédiatement la véritable cause de ces perturbations locales; mais, en d'autres points, il peut y avoir doute, et il devient difficile de faire la distinction entre ces éboulements et les plis secondaires qui ont pu se produire au moment du grand mouvement de chevauchement, plis secondaires que nous n'avons pas eu encore l'occasion de constater, mais dont les bords du bassin de Salernes vont nous fournir des exemples intéressants.

La pénétration du Crétacé sous le Jurassique atteint 3^{km}.

La pénétration du Crétacé sous le Jurassique dans le bassin de Salernes est considérable; elle atteint 3^{km} au moins, et l'allure régulière que montrent les couches, au moins sur la plus grande partie de cette bande de recouvrement, est vraiment étonnante. En sortant du Trias qui s'étend au sud, avec ses bancs redressés et ses ondulations répétées, entre Cotignac, Carcès et Entrecasteaux, il semble qu'on entre dans une zone de repos et de régularité, et cela précisément au point où les actions de plissement ont au contraire atteint leur maximum d'intensité. Cette remarque s'applique particulièrement aux deux plateaux qui bordent à l'est ou à l'ouest le golfe crétacé, qui s'avance au sud de Salernes jusqu'à la Bouissière et sert de passage aux eaux de la Bresque.

La coupe de ce plateau (*fig.* 91) montre au nord, ainsi que je l'ai déjà dit, quelques couches renversées de Bajocien et de Bathonien; au sud, ces couches renversées ont disparu, et les dolomies de l'Infralias reposent directement sur le Crétacé. Si l'on faisait la coupe un peu plus à l'est, du côté du signal de

Babadier, ou surtout au nord de la Ferme, on trouverait que le milieu du plateau s'est affaissé, et que les couches, au lieu d'une surface horizontale, y dessinent un pli synclinal bien accusé. En tout cas, la continuité et l'enclave crétacée de la Ferme ne permettent pas de douter que, là encore, le Crétacé ne se continue sous le plateau et sous le pli synclinal secondaire.

Golfe de la Bouissière (pénétration du Crétacé dans la vallée de la Bresque).

Le « golfe » de la Bouissière montre, sur les bords de la Bresque, et au milieu des assises lacustres, des rochers d'Infralias qui se trouvent isolés à un niveau inférieur à celui qu'indiqueraient les affleurements infraliasiques des coteaux qui font ceinture au golfe. La pente de ces coteaux est trop faible, et le volume des rochers trop considérable pour imaginer que, dans les conditions de

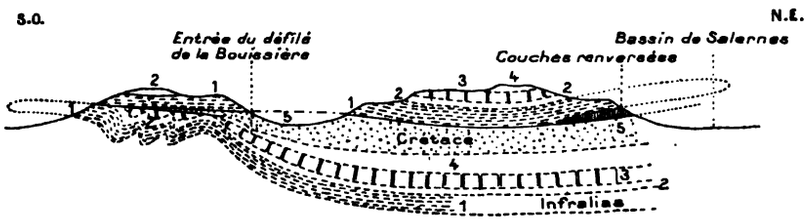


Fig. 91. — Coupe du défilé de la Bouissière.
(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XVII, p. 237.)

1. Infralias; 2. Bajocien; 3. Bathonien; 4. Jurassique supérieur (Dolomies); 5. Couches de Rognac (Crétacé supérieur).

Échelle des longueurs = 1 : 20 000.

relief actuel, ils aient pu descendre sous l'action de la pesanteur du bord de ces plateaux. Il faut donc supposer que l'Infralias recouvrait tout le golfe, comme le montre la coupe, et que ces blocs sont descendus *verticalement*, au fur et à mesure de l'enlèvement des sables sous-jacents. Des morceaux de calcaires bajociens, éboulés sur les pentes des collines situées au sud-ouest du cirque, semblent prouver de plus, quoique je n'en aie pas vu le gisement en place, que la bande renversée mentionnée au nord se retrouve de ce côté.

Défilé de la Bouissière; extrémité écrasée du synclinal.

Mais la partie la plus intéressante de cette coupe, c'est celle des coteaux que traverse le défilé de la Bouissière, creusé par la rivière de la Bresque, et où passent la grande route d'Entrecasteaux ainsi que le nouveau chemin de fer de Salernes. Ce défilé permet, en effet, de reconnaître *l'extrémité du pli synclinal* formé par les couches crétacées, ou, si l'on veut, la limite de l'enfoncement du Crétacé sous le Jurassique. L'écrasement complet de la bande crétacée, par suite duquel une sorte de rebroussement se substitue à la courbure synclinale des schémas théoriques, la suppression complète du flanc renversé et le contraste qu'offre l'horizontalité de la masse jurassique supérieure (flanc normal du pli anticlinal) avec les froissements et les contournements multipliés des masses jurassiques inférieures (flanc inférieur du pli synclinal), font de cette coupe un

des points d'observation les plus curieux et les plus instructifs qu'on trouve en Provence; c'est un des rares points de la Provence où la grandeur des forces mises en jeu se trouve placée en évidence, aussi nettement que dans les grandes falaises des Alpes, au lieu d'être dissimulée par la prédominance des déplacements horizontaux.

Infralias horizontal superposé à une série de plis secondaires.

A l'entrée du défilé, les couches crétacées se relèvent contre le Jurassique et montrent à leur base la brèche dont j'ai déjà parlé, presque uniquement formée de débris de dolomies jurassiques. Il y a eu des glissements entre les deux terrains; les dolomies sont là presque rudimentaires, et la présence de la Bauxite prouve que ce n'est pas par des érosions antérieures au dépôt des couches daniennes que leur épaisseur normale a été diminuée. Le Bathonien et le Bajocien leur font suite, très fortement relevés, et la tranchée du chemin de fer a même mis à jour les marnes vertes de l'Infralias, pincées et froissées dans un repli des couches. Puis une série de plis brusques amène plusieurs fois le Bajocien et le Bathonien, dont on voit à deux reprises les bancs durs et bien lités se dresser verticalement des deux côtés de la route. La brusque courbure de ces bancs, aux points où ils passent à la position verticale, a même forcé quelques-uns d'entre eux à s'introduire de vive force, à *s'impressionner,* malgré la dureté et la compacité du calcaire, dans les bancs qui leur font suite. A la sortie du défilé, l'inclinaison des couches diminue : les dolomies infraliasiques, la lumachelle à *Avicula contorta* et les Marnes irisées apparaissent successivement et plongent régulièrement au nord sous la série précédente.

Si, après avoir examiné cette coupe et cette succession de couches tourmentées, on lève les yeux à l'ouest vers le sommet des collines, on voit que cette succession de bancs ondulés et en partie verticaux est *surmontée par des couches horizontales.* Les plis s'arrêtent brusquement à une ligne horizontale, située à 40^{m} environ au-dessus de la vallée. Plus haut, on trouve les dolomies de l'Infralias occupant tout le plateau et surmontées horizontalement par les calcaires à silex du Bajocien.

Ligne de couches crétacées intercalées entre la série plissée et la série horizontale.

Un chemin forestier suit à peu près la ligne de contact et permet de reconnaître, le long de cette ligne, une série de lambeaux de grès rouges et de la brèche signalée à leur base. La série plissée du bas est ainsi séparée de la série plus ancienne du haut par un liséré de couches crétacées, qui vont rejoindre sans discontinuité celles du bassin de Salernes. Le pli synclinal vient ainsi finir en pointe, s'écraser en quelque sorte, comme je l'ai annoncé, entre la masse de recouvrement et les plis secondaires inférieurs.

Intérêt de la coupe de la Bouissière.

L'intérêt de cette coupe est d'abord dans la netteté avec laquelle les phénomènes se présentent, et dans la facilité avec laquelle l'ensemble peut s'embrasser d'un coup d'œil et les détails se vérifier sans ambiguïté. Mais de plus, elle montre sous un nouvel aspect les phénomènes que nous étudions. Dans tous les exemples précédents, les plis synclinaux sur lesquels se faisait le rabatte-

ment des plis anticlinaux étaient des plis simples; les couches qui en formaient le fond étaient en majeure partie horizontales et seulement affectées d'ondulations à faible courbure; ces couches formaient avec les couches de recouvrement, également horizontales, une série *concordante*. Mais ici, près du noyau synclinal du grand pli, il s'est formé une série de plis secondaires, dont la tête a été en quelque sorte rasée par la surface de glissement principale : la série de recouvrement est *discordante* avec la série inférieure. Le Crétacé, qui semblerait, *a priori*, devoir partager les mouvements de la série inférieure, et par conséquent ne plus exister que dans le centre des plis secondaires, forme au contraire une bande horizontale, se rattachant par son allure à la série supérieure. C'est que ce Crétacé, entraîné sans doute comme lambeau de poussée dans le mouvement de charriage, est en réalité compris entre deux surfaces de glissement, l'une à la base qui continue la zone d'amincissement des dolomies constatée à l'entrée du défilé, l'autre au-dessus des sables rouges qui continue la grande surface de recouvrement. Ces deux surfaces de glissement représentent là les deux flancs du synclinal écrasé. Il est impossible de ne pas signaler dès maintenant l'analogie de cette coupe de la Bouissière avec celle des Alpes de Glaris; je reviendrai plus loin sur cette comparaison.

La largeur de la nappe de recouvrement a été diminuée par la dénudation.

On peut, d'après ce qui précède, dans cette partie orientale du bassin, fixer en un point la limite extrême de pénétration du Crétacé sous le Jurassique. En tenant compte seulement des affleurements actuels, cela permettrait déjà d'évaluer à 2^{km} le transport horizontal des masses de recouvrement. Mais la falaise du bord actuel du bassin marque seulement la limite des actions de dénudation, et non pas celle de l'avancement primitif du Jurassique, et il est certain que ce Jurassique s'est avancé beaucoup plus loin. On en a d'ailleurs la preuve dans l'examen des petits mamelons qui entourent le sommet côté 386, à l'angle nord-est du bassin. Ce sommet est couronné par une corniche de tufs pliocènes, mais sur les mamelons voisins on trouve en grande quantité des blocs épars de calcaires oxfordiens, dont la présence inattendue serait certainement, dans un pays de moraines, attribuée à des glaciers. Or ici, ces blocs ne peuvent s'expliquer que par le démantèlement d'un manteau jurassique, qui s'est abaissé verticalement en se brisant à mesure que son support sableux était entraîné; c'est ainsi qu'on voit dans le bassin de Paris, près de Barbizon, des monticules formés par l'amoncellement de blocs de grès de Fontainebleau, reposer directement sur le calcaire de Brie. Les blocs oxfordiens sont bien ici des *blocs erratiques*, mais amenés à leur position actuelle par l'action combinée, pendant de longues périodes géologiques, des forces orogéniques et des dénudations. Ils marquent une limite jusqu'à laquelle se sont certainement avancées les masses charriées vers le nord.

Blocs de calcaires oxfordiens épars sur les sables, en avant de la falaise.

A l'est de Salernes et jusqu'à Rognette, le bassin crétacé se rétrécit singulièrement, même, nous le verrons, jusqu'à s'étrangler complètement, et il semble

que le rétrécissement de cette partie soit dû à une moindre dénudation du pli couché. Nous pouvons donc nous attendre à trouver des parties plus rapprochées de la charnière anticlinale théorique, et par conséquent à observer là des apparences nouvelles. C'est ce qui arrive, en effet : la coupe la plus intéressante à ce point de vue est celle des collines qui dominent Salernes à l'ouest, et notamment de la Croix de Solliès.

Coupe de la Croix de Solliès. Plissements secondaires dans la nappe de recouvrement.

On y rencontre une complication en quelque sorte inverse, ou plutôt symétrique de celle de la Bouissière. Tandis que là, près du noyau synclinal, la base des couches crétacées se compliquait de plissements secondaires, ici ces plis secondaires, ou du moins de larges froissements comparables, se produisent dans la nappe de recouvrement, et probablement au voisinage du noyau anticlinal. Nous avons déjà, dans plusieurs de ces nappes de recouvrement, généralement horizontales dans leur ensemble, signalé des irrégularités assez considérables; en certains points, on voit s'y creuser des cuvettes synclinales plus ou moins profondes, comme à l'ouest du pli même de Salernes; en d'autres, la nappe est dénivelée par des failles, comme en avant de la Sainte-Baume. Mais dans ces divers exemples, il n'y a rien qu'on ne puisse expliquer par des affaissements et par des tassements postérieurs. A la Croix de Solliès, il n'en est plus ainsi : les plis secondaires sont eux-mêmes couchés, et couchés dans le même

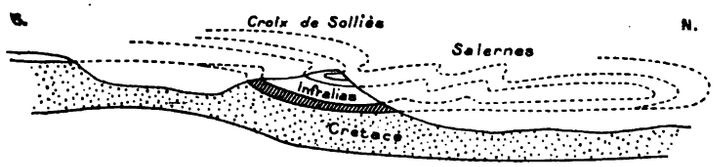


FIG. 92. — Coupe schématique de l'extrémité du pli de Salernes.

(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XVII, p. 240.)

Échelle des longueurs = 1 : 40 000.

sens que le grand pli (*fig.* 92); on ne peut donc se refuser à y voir des effets connexes et contemporains de la cause qui a produit le pli principal.

La coupe de la Croix de Solliès est la suivante : en partant de la ville, on rencontre d'abord la série déjà décrite pour les falaises homologues, c'est-à-dire, au-dessus des grès crétacés et après quelques parties éboulées qui masquent les termes renversés, la suite régulière des assises jurassiques : Infralias, Bajocien et Bathonien marneux. On arrive ainsi près du sommet; mais là, au lieu des calcaires compacts du Bathonien ou des dolomies supérieures, qu'on devrait s'attendre à rencontrer, on trouve tout le plateau culminant formé par un retour des calcaires à silex du Bajocien (*fig.* 93). Le Bathonien marneux, qui s'intercale ainsi au nord, n'affleure pas sur le versant sud; il ne traverse pas toute la colline, mais on peut le suivre, formant une ligne de champs culti-

vés, sur les trois quarts du pourtour de la butte qui porte la chapelle. Il est donc évidemment enclavé dans un pli en < (*fig.* 93).

Le pli de la Croix de Solliès se poursuit vers l'ouest; le promontoire des coteaux jurassiques qui lui fait suite montre, quand on le regarde de Salernes, la succession de deux plis, moins complètement couchés que le précédent, mais pourtant inexplicables par un simple affaissement postérieur (pointillés de la figure 92). Le second de ces plis englobe, avec le Bathonien marneux, un peu de Bathonien calcaire (Bathonien supérieur).

Ainsi la figure schématique du pli (*fig.* 92), au lieu du simple déroulement d'une nappe horizontale, présente une série de ressauts qui semblent, autant qu'on en peut juger, se faire très faiblement sentir dans la surface de séparation

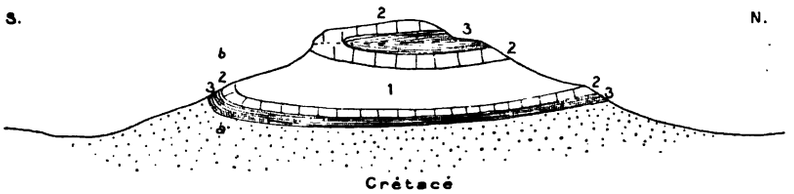


FIG. 93. — Coupe de la Croix de Solliès.
(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XVII, p. 240.)

1. Infralias; 2. Bajocien; 3. Bathonien.

Échelle = 1 : 10 000.

du Crétacé; du moins les couches crétacées restent partout à peu près horizontales. Ainsi le pli couché apparaît, à Salernes, comme un phénomène plus complexe qu'au Beausset et à la Sainte-Baume : il y a des plis secondaires, aussi bien dans le substratum que dans la masse de recouvrement, et les deux sortes d'irrégularités sont indépendantes l'une de l'autre, c'est-à-dire que, là où le substratum est plissé, la série de recouvrement est restée horizontale, et que, là où cette dernière est plissée à son tour, le substratum (*Muldenschenkel*) n'en paraît pas affecté.

Des accidents plus ou moins analogues, mais insuffisamment étudiés, semblent se reproduire auprès de Sillans; plus loin, du côté de Saint-Barnabé, ils s'effacent et disparaissent, et la falaise, au contact du Crétacé, est de nouveau formée par l'Infralias, régulièrement et faiblement incliné vers le sud; on ne trouve même plus le liséré de couches renversées. Cette disparition des couches renversées n'est d'ailleurs que locale; absentes aux affleurements, elles s'intercalent de nouveau au sud, en profondeur, comme le montre l'intéressante coupe du vallon de Saint-Barnabé (*fig.* 94). Dans ce vallon, on marche pendant 1km vers le sud sans rencontrer d'autres couches que les dolomies de l'Infralias; en arrivant près d'un petit élargissement du vallon, à l'est du point 410, on voit apparaître sous ces dolomies la lumachelle à *Avicula con-*

Vallon de Saint-Barnabé. Trou dans l'Infralias, faisant affleurer, au lieu du Trias, une enclave bathonienne.

torta; les couches se sont donc localement un peu relevées vers le sud; par conséquent, dans la petite plaine cultivée qui s'ouvre en ce point, on devrait s'attendre à trouver du Trias; au lieu du Trias ce sont les marnes bathoniennes qui la remplissent, de toutes parts entourées et dominées par l'Infralias. Plus au sud, la série régulière de l'Infralias, du Bajocien, du Bathonien et même des dolomies se succède jusqu'à la faille de Cotignac. C'est la reproduction du phénomène signalé à Valensole, au sud du bassin d'Esparron : le Bathonien forme évidemment en ce point le substratum de l'Infralias, mis localement au jour par les dénudations, et un puits creusé dans ce Bathonien rencontrerait le Crétacé.

Ainsi les couches renversées, supprimées au nord, reparaissent au sud, et elles reparaissent même avec une certaine épaisseur, car il y a plus de 20^{m} de

Fig. 94. — Coupe du Vallon de Saint-Barnabé.

1. Couches à *Avicula contorta;* 2. Infralias; 3. Bajocien; 4. Bathonien; 5. Crétacé.

Échelle des longueurs = 1 : 40 000.

Bathonien visibles dans l'enclave de Saint-Barnabé. Il est probable que ce développement indique le voisinage de la charnière synclinale qui, au lieu d'être écrasée comme à la Bouissière, se développerait au contraire en une courbe régulièrement arrondie. On pourrait, il est vrai, être tenté de croire la pénétration du Crétacé plus profonde, à cause de la bande crétacée qui, partant de Rognette, vient se terminer à 2^{km} au nord de Cotignac (1). Mais cette bande ne va pas rejoindre en profondeur celle de Saint-Barnabé; ce n'est pas un « golfe » comparable à celui de la Bouissière; car, dans ce cas, elle devrait être limitée de toutes parts par l'Infralias horizontal, tandis qu'au contraire elle est limitée au nord par le Jurassique supérieur, plus ou moins incliné, mais plongeant sous elle. Il y a donc là en réalité deux bandes crétacées, séparées par un éperon jurassique, toutes deux reposant au nord sur le Jurassique supérieur et s'enfonçant au sud sous l'Infralias, mais réellement distinctes et ne se rejoignant même pas en affleurement; car la bande septentrionale, celle de Salernes, Sillans et Saint-Barnabé, quoique se poursuivant assez loin vers les Cabanons, s'amincit et disparaît dans les bois, avant d'atteindre à cette ferme la seconde bande crétacée, celle de Rognette et de Barjols. La place de sa continuation virtuelle est seulement marquée par une faille, qui met en contact d'une

Rebroussement du pli au nord de Rognette; le bassin crétacé est interrompu un moment par un accident transversal.

(1) Voir la *Carte géologique détaillée de la France,* feuille 236 (*Draguignan*).

part les dolomies, et de l'autre l'Infralias ou le Bathonien. Si l'on voulait supposer que les deux bandes se réunissent en profondeur, la coupe serait celle de la figure ci-jointe (*fig.* 95). Une coupe plus satisfaisante (*fig.* 96) semblerait, au contraire, supposer deux plis distincts, dont le dessin en plan n'est pas possible à suivre sur la Carte géologique. Il y a là une difficulté semblable à celles que nous avons rencontrées à Simiane et à Artigues, et qui doit s'expliquer de

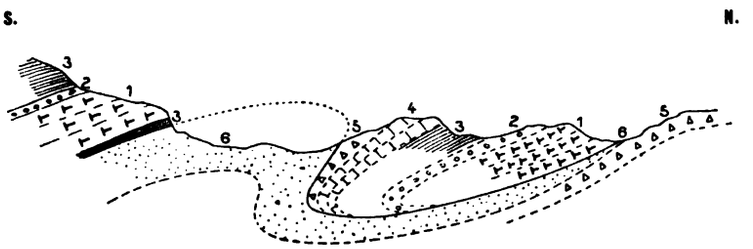


Fig. 95. — Rapports entre la bande crétacée de Salernes et celle de Rognette (Première hypothèse).

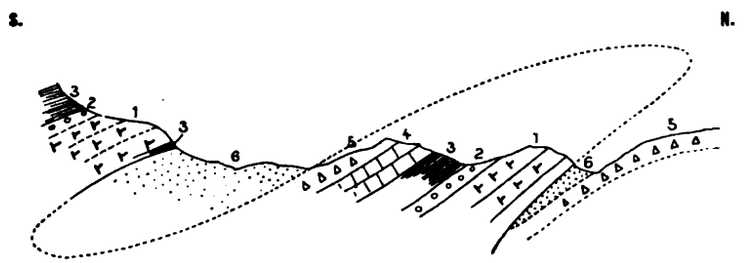


Fig. 96. — Rapports entre la bande crétacée de Salernes et celle de Rognette (Deuxième hypothèse).

LÉGENDE COMMUNE AUX FIGURES 95 ET 96 :

1. Infralias; 2. Bajocien; 3 et 4. Bathonien; 5. Jurassique supérieur; 6. Crétacé.

Échelle des longueurs = 1 : 40 000.

la même manière, par une torsion brusque, ou plus exactement par une sorte de rebroussement du pli. Ce serait le même pli, reporté plus au sud par cet accident, que la coupe (*fig.* 96) rencontre deux fois.

Raccordement du pli couché de Salernes avec la grande bande nord-sud de Trias.

La bordure sud du bassin crétacé se poursuit avec les mêmes caractères jusqu'à Pontevès et à Barjols; il est donc certain que, sur toute cette longueur, le Crétacé s'enfonce sous le Jurassique, mais il est permis de croire qu'il s'enfonce moins profondément qu'à l'est du bassin, et que les masses des deux Bessillons ne reposent qu'en partie sur le Crétacé. Quoi qu'il en soit, les différents termes de la retombée normale du pli couché vont, à Barjols, s'appliquer par faille contre la grande bande triasique, tant de fois mentionnée, et le bassin crétacé, réduit à une traînée étroite, remonte vers le nord, en s'appuyant, au delà de Barjols, directement contre le Trias. Des lambeaux de calcaires jurassiques

reposent çà et là sur cette étroite bande crétacée. On a donc ainsi la preuve que la bande triasique s'est déversée, qu'elle a été poussée sur les couches qui prolongent le synclinal de Barjols et de Salernes. Par conséquent, cette bande, au moins dans sa partie orientale, doit être considérée comme la continuation du pli couché de Salernes.

Amorce de la charnière anticlinale observable près de Barjols.

Il est assez remarquable qu'à Barjols, au point même où ce pli vient s'étrangler pour se fondre dans la bande triasique, il semble se compléter par la réapparition de couches renversées de plus en plus puissantes, et par l'amorce au moins de la boucle terminale, de la courbure anticlinale. En effet, à partir de Pontevès, c'est-à-dire à partir du point où la limite méridionale des affleurements crétacés se dévie vers le nord, si l'on prend une série de coupes normales à cette bordure, la première montre le Bathonien et le calcaire à silex réduits, surmontés par l'Infralias, au-dessus duquel reprend la série normale inclinée vers Barjols (*fig.* 90 *c*); plus loin l'Infralias fait défaut, et le centre du pli ne montre plus que le Bathonien supérieur, *superposé* à l'Oxfordien. L'Infralias est donc complètement enveloppé par les couches plus récentes, et comme il ne reparaît pas de l'autre côté de la colline, il faut que la coupe du nord au sud soit disposée comme l'indique le croquis schématique ci-joint (*fig.* 97). Il est à remarquer que, si cette interprétation est exacte, et je n'en vois pas d'autre pos-

Fig. 97. — Extrémité du pli couché à Barjols.
(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XVII, 1888-89, p. 241.)

sible, elle montre que les couches tendent à se compléter autour de la charnière anticlinale, de même que d'après d'autres exemples elles nous ont indiqué une tendance à le faire autour de la charnière synclinale. Le schéma complet d'un pli couché serait donc celui qu'indique la figure 46, et le maximum d'étirement, correspondant à la suppression complète des couches renversées, aurait lieu vers le milieu de la bande de recouvrement.

Schéma complet d'un pli couché.

Résumé relatif à cette partie du pli de Salernes.

En résumé, le pli de Salernes, quoique ne se présentant que le quatrième dans l'échelonnement général que j'ai indiqué du sud au nord, offre des déplacements horizontaux presque aussi considérables que les deux premiers; il permet en outre de définir et d'étudier des apparences encore plus complexes, dues aux froissements secondaires des masses mises en mouvement, aux environs des charnières synclinale et anticlinale.

8° Le pli d'Aups.

Bombement qui le sépare du bassin de Salernes.

Le bassin d'Aups est séparé de celui de Salernes par un bombement jurassique qui n'a guère plus de 4^{km} de largeur et qui, sur la route de Salernes à Aups, ne fait apparaître que les dolomies jurassiques; mais à l'est comme à l'ouest le pli s'accentue, et il laisse apparaître une série de boutonnières infraliasiques, dont plusieurs sont partiellement limitées par des failles, du côté nord; cette dissymétrie marque une tendance du pli à se renverser vers le nord, tendance qui s'accentue au sud de Fox-Amphoux; du côté de Tourtour, ce même bombement, quoiqu'il ne se prolonge pas très loin dans cette direction, s'ouvre jusqu'au Muschelkalk (route de Tourtour à Villecroze).

Le bassin crétacé d'Aups est, du côté du nord-ouest, divisé en deux branches, celles de Régusse et de Montmeyan, par le large bombement anticlinal de Peyroste. Du côté du sud-est, au contraire, il se rétrécit et va, par une bande étroite, se perdre au milieu des dolomies jurassiques. Mais le synclinal auquel il correspond se continue plus loin. M. Zürcher a pu en suivre la trace, jalonnée par une série de lambeaux crétacés. Ces lambeaux, dont quelques-uns sont isolés au milieu du Trias, s'alignent d'abord en ligne droite le long de la vallée de Florieille, puis entourent, au-dessus de Lorgues, le pied du monticule de Saint-Ferréol, et vont ainsi se raccorder avec le bassin crétacé de Salernes. *C'est le pli synclinal de Salernes qui, en tournant de près de 180°, vient former le pli synclinal d'Aups.* A la suite d'une tournée commune dans cette région, nous avions été amenés, M. Zürcher et moi, à présumer la probabilité de cette liaison; les recherches de M. Zürcher sur le terrain l'ont pleinement confirmée. Le cas est tout à fait analogue à celui que j'ai décrit à Bras, et à celui de Saint-Maximin, dont je parlerai tout à l'heure.

Mais l'exemple actuel est particulièrement intéressant par l'étirement exceptionnel des flancs de ce synclinal, dans la partie où sa direction se trouve ainsi brusquement déviée : c'est la masse entière du Jurassique qui, en certains points, est supprimée entre le Trias et le Crétacé. Je ne puis entrer dans la description des coupes que m'a montrées M. Zürcher et dont je n'ai pas étudié le détail, mais je tenais à indiquer le fait, parce qu'il complète d'une manière bien instructive les nombreux exemples d'étirements déjà cités dans ce Mémoire.

Le pli, en tournant vers le nord-ouest, continue à être recouvert par les terrains venus de l'extérieur; le renversement qui avait lieu vers le nord sur le pli de Salernes, se fait alors vers le sud-ouest. Il n'est d'abord que faiblement accentué, mais prend de plus en plus d'importance à partir des Infirmières et du château de Cresson. Si, de ce point, on suit vers Aups la limite septentrio-

Falaise septentrionale en recouvrement sur le Crétacé.

nale des couches crétacées, on voit partout une falaise, plus ou moins nettement accusée, mettre ces couches en contact avec l'Infralias, et, le long du petit canal qui amène la source des Infirmières à Aups, une galerie de recherches ouverte à la limite de ces deux terrains a montré la superposition horizontale du plus ancien sur le plus récent.

En se rapprochant d'Aups, des termes renversés, de plus en plus développés, s'intercalent au-dessus du Crétacé, jusqu'aux calcaires blancs qui affleurent au milieu de la première montée de la route de Riez; entre ce point et la chapelle Notre-Dame, une petite colline est composée à sa base de Bathonien, puis de calcaires à silex bajociens, et au sommet d'Infralias, le tout plongeant doucement au nord-est. Ainsi l'existence d'un pli couché, renversé vers le sud sur le bassin d'Aups, est bien nettement établie.

Pli secondaire des Gipières.

A Aups, le pli semble se détourner vers le nord jusqu'aux Gipières, et aller se perdre dans les dolomies au nord-ouest; mais cette déviation apparente est due probablement à la naissance d'un pli secondaire, et les collines qui bordent le Crétacé entre Aups et Moissac montrent la continuation de renversements analogues. De plus, en avant de ces collines, près de Saint-Jean, à mi-chemin entre les deux villages, un mamelon (538), formé à sa base par les marnes et grès rouges crétacés, est couronné par les calcaires à silex bajociens (*fig.* 98). La colline qui porte l'église de Moissac, et qui dessine un promontoire au mi-

Continuation du recouvrement jusqu'au delà de Moissac.

Ilot de Saint-Jean et promontoire de Moissac superposés au Crétacé.

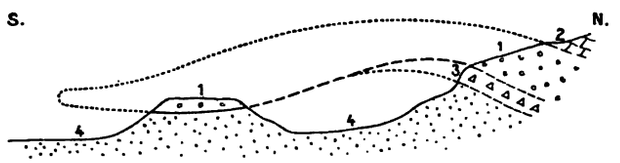


Fig. 98. — Coupe de l'îlot de Saint-Jean (bassin d'Aups).

1. Bajocien; 2. Bathonien; 3. Jurassique supérieur; 4. Crétacé.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000 environ.

lieu du Crétacé, est également formée de calcaires à silex bajociens. Les recouvrements, de ce côté, atteignent donc et dépassent 1^{km}.

Pli d'Ampus.

Enfin, au nord-est du pli d'Aups, à Ampus, on trouve un dernier bassin crétacé, également orienté vers le nord-ouest. Là encore, un des bords jurassiques s'est renversé sur les sables crétacés; mais, comme dans le bassin de Salernes, le mouvement est venu du sud, et c'est au nord que la superposition est régulière : à l'est du village, un rocher d'Infralias et de calcaires à silex couronne un coteau crétacé, et montre que la nappe de recouvrement a, là encore, atteint au moins 1^{km} de largeur.

Le pli d'Ampus pourrait peut-être se relier à celui d'Aups, comme ce dernier se relie à celui de Salernes, l'ensemble des trois plis formant un large feston

sur le bord de la plaine de la Durance; mais comme, en approchant de cette plaine, les plis s'abaissent et s'effacent, l'hypothèse ne peut être vérifiée et perd toute valeur pratique.

9° Plis de Sainte-Victoire et de l'Olympe.

Sinuosités du pli de Salernes du côté de l'ouest.

Si, du côté de l'est, le pli de Salernes doit être considéré comme se rattachant aux plis d'Aups et d'Ampus, ce qui, pour le premier au moins, est définitivement démontré, il est probable que, du côté de l'ouest, il ne décrit pas de moindres sinuosités, quoique de ce côté quelques points restent encore à étudier, notamment aux environs de Rians.

Rattachement hypothétique de la bande triasique de la Verdière à celle de Rians.

Un premier point reste encore sujet à contestation : la bande triasique de Varages, qui vient à partir de Barjols épouser le pli de Salernes, doit-elle être rattachée au Trias de Rians, qui dessine une courbe en retour vers le sud? Elles sont, comme je l'ai dit, séparées par des plateaux bathoniens et oxfordiens, qui ne permettent de constater qu'un bombement des couches peu accusé. Mais sur les bords du plateau, on voit que le Bathonien surmonte directement l'Infralias le plus inférieur; la coupe est celle de deux couches en succession normale, et il y a même des îlots de Bathonien au milieu des couches à *Avicula contorta*. On est donc en présence d'étirements considérables, qui sont un indice bien probable à mes yeux de la continuation du pli, et la manière dont se font face les deux bandes triasiques est un nouvel argument.

Rattachement aux plis de Sainte-Victoire.

De Rians, comme le montre la Carte géologique de M. Collot, on passe sans difficulté à la chaîne de Sainte-Victoire; mais l'idée que cette chaîne serait formée, comme celle du Luc et de Bras, par un retour sur lui-même du pli étudié, est encore une hypothèse. On ne voit pas là, comme à Bras, les affleurements des couches se contourner en demi-cercle. Le pli sud de Sainte-Victoire, celui qui borde le bassin de Fuveau, pourrait donc être un nouveau pli prenant naissance en ce point. En tout cas, ce qui est certain, c'est que ce pli, continuation ou non de celui de Salernes, décrit une demi-circonférence autour de l'extrémité orientale de ce bassin.

Pli qui borde l'extrémité est du bassin de Fuveau.

Contournement de ce pli auprès de Saint-Maximin; terminaison en pointe du bassin synclinal.

En partant de Sainte-Victoire, les collines de bordure s'abaissent, les pendages diminuent, et le pli ne se continue que par le faible bombement qui sépare les bassins de Fuveau et d'Ollières. Mais en arrivant à Saint-Maximin, le bombement devient plus aigu, et fait apparaître, près du Défends, le Lias et l'Infralias; la direction des couches s'infléchit en même temps vers le sud, et le Lias vertical décrit une courbe qui le raccorde avec celui de la falaise de l'Olympe, c'est-à-dire de la falaise qui borde le bassin au sud. En avant de ce demi-cercle, le Crétacé de ce bassin vient se terminer en pointe allongée, comme écrasée

entre deux murailles jurassiques : d'un côté, au nord, ce sont les dolomies jurassiques, en pendage régulier sous le Crétacé; de l'autre, au sud, c'est la succession horizontale de tous les étages jurassiques qui se superposent depuis l'Infralias jusqu'à l'Oxfordien. Il y a bien là *terminaison*, et non pas seulement étranglement de la cuvette synclinale, car si l'on essaie d'en suivre la trace vers l'est, on va se heurter à la barre transverse et verticale des bancs liasiques. Par conséquent, il y a inflexion brusque, presque rebroussement des plis, au moment où ils viennent atteindre la bande triasique nord-sud de Saint-Maximin. C'est *un seul et même pli anticlinal*, brusquement recourbé sur lui-même, *qui*, de Sainte-Victoire à l'Olympe, *entoure le bassin synclinal de Fuveau*.

Pli de l'Olympe. Enfoncement du Crétacé sous le Jurassique.

A partir du moment où le pli revient ainsi vers l'ouest en formant la chaîne de l'Olympe, son allure change complètement; c'est un pli couché du premier type, et un des plus nets qu'on puisse trouver en Provence. L'apparence est celle d'une haute falaise jurassique qui se dresse en avant de la plaine crétacée, et qui serait séparée d'elle par une faille (*fig.* 99); mais en réalité le Crétacé s'enfonce sous le Jurassique, jusqu'à une distance qu'il est impossible de préciser, et ses bancs, sous le Jurassique, se recourbent sur eux-mêmes, en dessinant

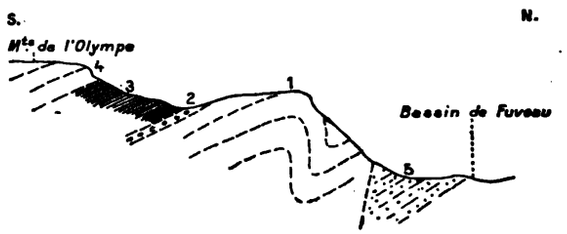


FIG. 99. — Coupe apparente du bord méridional du bassin de Fuveau.

1. Infralias; 2. Lias et Bajocien; 3. Bathonien; 4. Oxfordien; 5. Crétacé.

Échelle = 1 : 40 000.

seulement la charnière synclinale du bassin. Il se pourrait déjà que, près de Saint-Maximin, le petit affleurement crétacé de Berne, qui apparaît soudainement dans un fond limité de toutes parts par le Bathonien, fût à considérer comme un regard ouvert sur le substratum des masses jurassiques; mais en tout cas, à l'Oratoire Saint-Jean, à 12^{km} plus à l'ouest, les preuves du recouvrement sont absolument nettes et faciles à étudier.

Coupe à l'Oratoire Saint-Jean.

La plaine, au sud de Trets, est formée presque uniquement par les sables et grès grossiers qui constituent la base de l'étage de Rognac, c'est-à-dire de la partie supérieure du Crétacé lacustre, et qui s'entremêlent de marnes rouges avec ossements de Reptiles (*Hypselosaurus priscus*); ces marnes et grès, qui surmontent le sous-étage à lignites, composé de calcaires marneux avec Physes (*Physa Michaudi*) et Cyrènes, s'inclinent avec une pente très légère vers le

sud, c'est-à-dire vers la falaise jurassique, et cette pente, jointe au niveau de plus en plus élevé du sol, fait qu'en s'approchant de la falaise on marche sur des couches de plus en plus élevées dans la série.

Au point où nous faisons la coupe, à l'est de l'Oratoire Saint-Jean, entre Trets et les rochers de l'Olympe, contrairement à ce qui se passe près de Saint-Maximin, et quoique la ligne des hauteurs ne se soit pas sensiblement abaissée, les grès crétacés s'élèvent presque jusqu'au sommet; le Jurassique ne forme qu'un léger ressaut au-dessus de ces grès. La composition de la montagne jurassique n'est d'ailleurs pas moins simple : l'Infralias est à la base, en contact avec le Crétacé; il s'incline aussi régulièrement vers le sud, et la surface de ses bancs accompagne celle du sol sur toute la déclivité du premier plateau incliné qui précède le grand rocher de l'Olympe; au-dessus de l'Infralias vient le Lias, qui s'amincit et disparaît en plusieurs points, puis le Bathonien, qui forme tout le talus du grand escarpement, et enfin les calcaires oxfordiens couronnent le sommet. Sauf la suppression intermittente du Lias, rien n'interrompt la régularité de cette série faiblement inclinée.

Intercalation de termes renversés entre le Crétacé et l'Infralias.

Mais quand on examine de plus près le contact du Jurassique et du Crétacé, on trouve que, dans le voisinage de la limite des deux séries, sans qu'on puisse constater aucune modification dans le pendage, des bancs plus anciens, des calcaires marneux à Cyrènes se superposent aux grès supracrétacés : c'est l'amorce de la série renversée qui caractérise le pli couché. De plus, à la base de l'Infralias, on observe un banc de calcaire métamorphique, transformé en un véritable marbre, blanc et rosé, qu'on a essayé d'exploiter dans une petite carrière ouverte près du sommet, à l'est de l'Oratoire. Ce marbre est en partie bréchoïde, et les morceaux anguleux qu'il enclave ne peuvent s'attribuer qu'à une brèche de friction. Nous en avons déjà constaté une semblable dans les calcaires à Hippurites du Beausset; la brèche et le métamorphisme du calcaire sont les indices du charriage qui a fait glisser la masse jurassique sur le Crétacé.

Enclaves crétacées au milieu du Jurassique.

Si l'on porte ensuite ses recherches sur le plateau infraliasique, on y remarque près du puits de l'Oratoire une légère dépression, qui accidente faiblement le relief, mais où affleurent, toujours avec le même pendage vers le sud, les couches inférieures de la série de Fuveau, les calcaires jaunâtres à *Melanopsis*. La dépression permet de les suivre jusqu'à 500^{m} environ des bords du plateau; la série crétacée se continue donc à une faible distance de la surface, parallèlement au plongement général; l'Infralias ne forme qu'une mince couverture, que les érosions ont pu localement entraîner, et sous laquelle un puits retrouverait partout le Crétacé; ce sont ses marnes qui, par exemple, alimentent sans aucun doute la nappe d'eau du puits de l'Oratoire. Un peu plus loin au sud-est affleurent des marnes rouges, qui ont été marquées sur la Carte géologique comme des Marnes irisées; ces marnes appartiennent en réalité au Crétacé supérieur, au même étage que les grès de la plaine de Trets; en effet, dans

le ravin qui part de là et descend vers Saint-Zacharie, on a trouvé des ossements de Reptiles daniens, qui ne peuvent venir d'autre part que de ces affleurements; de plus, ces marnes rouges sont surmontées par un banc de marbre blanc, continu sur plusieurs centaines de mètres, tout à fait semblable à celui de l'Oratoire, et dont la signification est nécessairement la même; il doit accompagner la surface de glissement, c'est-à-dire la limite du Jurassique et du Crétacé; son intercalation entre les Marnes irisées et l'Infralias, dans une coupe normale, serait en contradiction avec toutes les autres coupes de la région et resterait complètement inexplicable. L'idée de chercher là les marnes de Rognac et d'y admettre leur présence ne pouvait, il est vrai, venir à l'esprit, tant que l'existence des plis couchés était inconnue en Provence; on soupçonnait bien que la limite du Jurassique et du Crétacé n'était pas une faille rigoureusement verticale, et qu'il y avait léger enfoncement du second sous le premier; mais personne n'aurait songé à émettre l'hypothèse que cette faille pût être parallèle à la surface de bancs presque horizontaux. C'est pourtant là un fait qui devient maintenant incontestable; la coupe ci-jointe (*fig.* 100), qui le met en évidence, est la traduction rigoureuse des observations et n'a rien d'hypothétique.

Terminaison du pli à Regaignas.

Au sud-ouest de l'Oratoire Saint-Jean, le pli couché se redresse peu à peu; il n'est bientôt plus couché sur le bassin crétacé que sous un angle d'une qua-

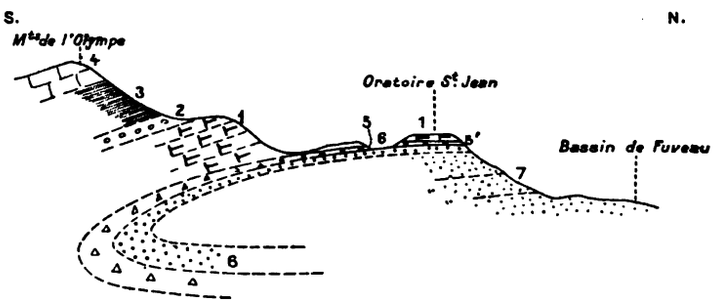


FIG. 100. — Coupe passant par l'Oratoire Saint-Jean.

1. Infralias; 2. Lias et Bajocien; 3. Bathonien; 4. Oxfordien; 5. Jurassique supérieur 5'. Banc de marbre; 6. Couches de Valdonne (base de la série lacustre); 7. Couches de Fuveau.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000 environ.

rantaine de degrés, et à Regaignas il se transforme presque en pli droit, à retombée verticale. En même temps, le flanc renversé du pli se complète; des lambeaux de Lias et de Bathonien, puis les calcaires jurassiques supérieurs s'intercalent, en ordre inversé, au-dessus du Crétacé; de même, les plus anciennes couches lacustres et les calcaires à Hippurites reparaissent à leur pied. La continuité de ce pli avec l'arête jurassique qui s'avance en promontoire jusqu'auprès de la Pomme, à la bifurcation des deux routes nationales, semble très vraisemblable, sans être pourtant tout à fait démontrée; il y a là une série de

décrochements qui rendent l'observation difficile et les raccordements douteux. Mais en tout cas, ce n'est plus là qu'un bombement régulier, qui s'efface progressivement. Le pli couché cesse à Regaignas, en face même du point où prennent naissance au sud les chevauchements des collines d'Auriol.

Coupe d'ensemble des trois grands plis couchés de la Provence.

La partie de la chaîne de l'Olympe que je viens de décrire est le seul point par lequel on peut faire passer une coupe nord-sud, montrant la succession des trois grands plis couchés, dégagée des apparences plus complexes qui résultent des torsions, quand un même pli est rencontré plusieurs fois par la ligne de coupe. La coupe ainsi menée va passer par le couvent de la Sainte-Baume, et rencontre ce pli à l'est des sinuosités de Roquevaire et de Saint-Zacharie; elle va passer plus au sud par l'îlot du Beausset, c'est-à-dire par le point où le pli du Beausset est le mieux connu et le plus déroulé. Elle permet donc (*fig.* 101), non pas de se faire une idée de toutes les complications de la Provence, mais de mesurer à côté l'un de l'autre, de sommer en quelque sorte les immenses déplacements horizontaux qu'ont produits les compressions latérales. Le rôle des déplacements verticaux y est, au moins pour une région

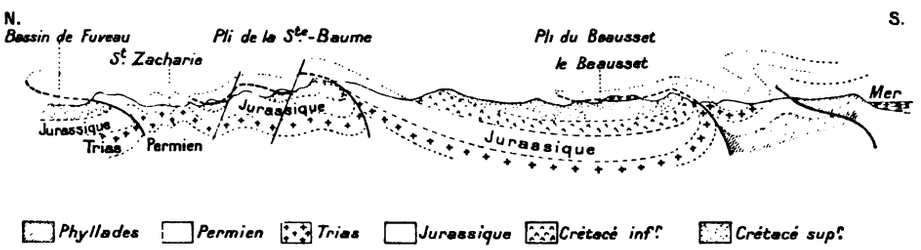


FIG. 101. — Coupe d'ensemble des trois grands plis de la Provence.

Longueurs = 1 : 400 000. — Hauteurs = 1 : 100 000.

plissée, réduit à son minimum, et le rôle des déplacements horizontaux en ressort avec plus d'évidence. On voit comment, sous cette forme nouvelle, dont l'étude ne s'était pas présentée jusqu'ici, les plissements même les plus énergiques arrivent à se dissimuler, à se dérober à l'observation; on voit aussi combien est peu épaisse la zone de l'écorce terrestre dans laquelle ils ont laissé leur trace, combien en d'autres termes ils sont superficiels, et quelle faible quantité de dénudation il faudrait faire intervenir pour effacer tout vestige de ces mouvements grandioses, en ramenant la structure apparente de la Provence au type des régions de plaines ou de plateaux.

10° Pli couché de la bordure des Maures.

Renversement des phyllades sur le Permien et le Trias.

Avant de passer à la comparaison des phénomènes décrits en Provence avec ceux qui sont connus dans d'autres régions, il me reste à parler des faits relatifs à la bordure du massif cristallin, et dont les plus importants ont été découverts par M. Zürcher et par moi, postérieurement à la rédaction de ce Mémoire (1). La conclusion qui s'en dégage est que les terrains cristallins, tout au moins les phyllades, ont été renversés et charriés sur le Permien et le Trias, aussi énergiquement et sur d'aussi larges espaces que le Trias l'a été sur les terrains crétacés du Beausset.

Le renversement des phyllades sur le Permien s'observe très nettement entre Gonfaron et le Pujet; il est aussi très apparent près de Pierrefeu, sur la route de Collobrières, mais il était naturel de n'attribuer à ces renversements qu'une importance locale et restreinte. Il n'en est pas de même des coupes reconnues aux environs de Toulon.

Environs de Toulon.

Les phyllades, au sud de Toulon, présentent des contours très capricieux ; la limite qui les sépare du Permien, après avoir suivi depuis la baie de Saint-Nazaire la direction E.-O., se recourbe autour du Cap Brun, pour aller englober la presqu'île du Cap Cepet, et une large bande secondaire, en partie cachée sous la mer, mais s'étendant avec une grande probabilité jusqu'aux collines d'Hyères. Dans cette bande, un îlot de phyllades, celui du Pradet, est complètement entouré par le Permien et le Trias.

Ces îlots et ces promontoires de phyllades semblent indiquer partout des saillies du substratum sur lequel se sont déposés les étages plus récents; mais alors, on devrait s'attendre à les trouver en contact avec la base de la série sédimentaire. C'est le contraire qui a lieu : ce n'est pas le Permien inférieur, c'est le Trias, et le plus souvent le Trias supérieur, qui vient border les phyllades, en bancs inclinés vers l'îlot. On ne peut songer à une transgression du Muschelkalk, d'abord parce qu'il n'y a pas trace de phénomènes de rivage, et ensuite parce que jamais à l'intérieur de l'îlot on ne trouve le moindre débris de Muschelkalk. Lorsque j'ai fait la Carte géologique, j'avais réservé tout essai d'interprétation, en entourant les îlots et les promontoires de phyllades par des lignes de failles; ces failles, à contour sinueux et à contour fermé, indiquaient l'existence d'une anomalie encore inexpliquée.

Coupe du tunnel de l'Eygoutier.

En 1890, M. Zürcher, en étudiant le projet de tunnel qui devait conduire les eaux de l'Eygoutier à la mer, dans l'anse de Sainte-Marguerite, découvrit

(1) *Comptes rendus*, t. CXII, 11 mai 1891, p. 1083-1086.

au milieu du Trias une nouvelle bande de phyllades, large seulement de quelques mètres, et paraissant établir une liaison entre le promontoire du Mourillon et l'îlot du Pradet. La bande, au milieu des cultures et des propriétés privées, ne peut se suivre à la surface que sur 500^{m} de longueur environ; sur ce parcours, elle est jalonnée par la croissance des chênes-lièges, qui manquent dans le reste de la région.

Le tunnel projeté devait passer sous ces affleurements; on comptait donc qu'il rencontrerait les phyllades en profondeur. Mais les travaux, suivis avec grand soin, n'ont rien montré de pareil; le tunnel, entré à ses deux extrémités dans le Muschelkalk, n'a traversé qu'une série de grès et d'argiles rouges (Grès bigarré et Permien), formant une voûte régulière et surbaissée. L'affleurement de phyllades est donc superficiel; il n'a pas de racine en profondeur : *les phyllades sont superposés au Trias.*

Une coupe observée dans la propriété de M. Tassy nous avait d'ailleurs permis, avant l'achèvement du tunnel, de prévoir ce résultat. Le Muschelkalk, presque horizontal, forme une petite falaise au bord de la mer; sur ce Muschelkalk reposent 2^{m} environ de grès et d'argiles rouges, et sur ces argiles reposent les phyllades froissés. Au contact entre les deux, on peut même reconnaître 50 centimètres environ de quartzites, rappelant les gros bancs de quartzites qui, au château d'Hyères et à Six-Fours, forment la partie supérieure du système des phyllades. Ainsi, non seulement les phyllades sont superposés au Trias, mais ils en sont séparés par une bande de terrains renversés et étirés, correspondant au *laminage* de la série intermédiaire. Cette série, qui normalement ne compte guère moins de mille mètres, est là réduite à deux mètres d'épaisseur.

L'îlot du Pradet est superposé au Trias.

Ainsi, nous sommes en présence d'un nouveau pli couché. On peut en conclure, comme conséquence immédiate, que l'îlot du Pradet est également superposé au Trias. Autour du promontoire du Mourillon, les apparences sont les mêmes, et M. Zürcher vient d'y recueillir de nouvelles preuves de superpositions inversées; mais le raccordement avec les phyllades de la Seyne laisse encore subsister quelques difficultés. Sans vouloir présumer les résultats de l'étude détaillée que poursuit M. Zürcher, on peut dès maintenant affirmer que ces lambeaux de phyllades superposés au Trias sont venus du sud; et de ce côté on ne peut chercher leur lieu d'origine, leur *point de départ,* que dans la bande qui, sous la mer, relie le Cap Sicié à la presqu'île de Giens; il y a donc eu transport horizontal sur près de 5^{km}. Ainsi un témoin longtemps inaperçu, d'une étendue insignifiante, nous permet de reconstituer un des déplacements les plus importants qu'aient subis les terrains de la Provence.

Intérêt théorique de ce pli couché.

L'intérêt théorique de ce pli couché est considérable; d'abord, il nous prouve que les terrains cristallins ont subi l'action des refoulements de la même manière et sous la même forme que les terrains sédimentaires plus récents. Mais

surtout il montre que les limites actuelles de ces terrains cristallins ne sont que des limites accidentelles et fortuites, ne dépendant que du degré de dénudation : donc, quand nous parlons du massif des Maures comme d'un massif anciennement émergé ou comme d'un massif résistant, il faut bien se rappeler que c'est sans prétendre à le délimiter exactement, et qu'il s'agit alors d'un massif idéal, n'ayant qu'un rapport grossier d'emplacement avec le massif actuel. Ainsi seulement peut se concilier cette sorte d'antinomie qui consiste à considérer tour à tour le massif cristallin des Maures comme un noyau résistant, déviant la propagation des plis, ou comme une masse plastique subissant leur action.

CHAPITRE V.

PLIS COUCHÉS DES PYRÉNÉES ET DES ALPES.

Ordre suivi dans l'énumération des exemples connus.

Après avoir décrit avec plus de détails les faits, en partie inédits, qui sont relatifs à la Provence, je vais, dans ce Chapitre et dans le suivant, indiquer les phénomènes semblables qui ont été reconnus dans les autres régions plissées. La généralité de ces phénomènes étant un élément important pour les conclusions théoriques qu'on peut en tirer, je mentionnerai autant que possible tous les exemples qui me sont connus, mais je n'entrerai dans quelques développements que pour ceux dont la comparaison avec la Provence peut fournir des renseignements sur le mécanisme de ces phénomènes, ou sur les différences secondaires d'aspect ou de structure qu'ils peuvent présenter.

Chaînes tertiaires.

Pour introduire un peu d'ordre dans cette description, je suivrai successivement chacune des grandes chaînes de montages, d'âge différent, dont les nouvelles études géologiques ont pu reconnaître et définir l'individualité. Ce sont d'abord les *Alpes*, dans le sens large que M. Suess a donné au mot, c'est-à-dire la zone des dislocations tertiaires; puis, au nord, la *chaîne hercynienne*, ou zone des dislocations de la période houillère; et enfin, plus au nord encore, la *chaîne calédonienne*, ou zone des dislocations de la période silurienne. Pour les Alpes, je distinguerai même le versant septentrional et le versant méridional, à cause des discussions qui se sont produites sur la différence de structure des deux versants et à cause de l'importance théorique de cette question, que l'étude des plis couchés permet, je crois, de trancher d'une manière définitive.

La Provence fait partie de la zone alpine.

La Provence fait partie de la zone alpine; le raccordement détaillé et précis des plis que je viens de décrire avec les plis des Alpes n'a pas encore fait l'objet d'une étude spéciale sur le terrain; mais on peut déjà, d'après les données acquises, prévoir que ce raccordement se fait par une large sinuosité, dont la vallée du Var marque à peu près le contour; les plis, après avoir suivi la bordure des Maures, se retournent sur eux-mêmes pour aller suivre au nord le con-

tour du massif central des Alpes, des chaînes du Pelvoux et du Mont Blanc. La sinuosité, dont j'ai indiqué tout à l'heure l'amorce pour le bassin synclinal de Salernes, ne serait qu'une sinuosité secondaire, enveloppée par la précédente, et c'est au centre de ces boucles concentriques que se trouverait le bassin de Manosque et de la basse Durance, comme la vallée affaissée du Pô marque le centre de la courbe décrite par les Alpes et les Apennins.

La Provence établit un trait d'union entre les Alpes et les Pyrénées.

La Provence prend ainsi une importance considérable dans la géologie de l'Europe, parce qu'elle relie, par une sorte de trait d'union, les Alpes et les Pyrénées. Sans doute la distance est grande (plus de 200^{km}) entre les Maures et les massifs de Perpignan, et la mer masque tout cet intervalle; les sondages ne révèlent même pas un haut fond sous-marin entre les deux massifs. Mais ils se font si bien face de part et d'autre du Golfe du Lion, les plis qui les accompagnent continuent si bien la même direction, les mouvements qui ont formé ces plis datent si évidemment du même âge, qu'il est difficile, en regardant une carte géologique, de mettre en doute cette liaison. Elle ne serait même pas contredite par la remarque, récemment faite par M. de Margerie (1), que les plis des Corbières, au moins les plus septentrionaux, s'infléchissent au nord-est vers Narbonne et semblent ainsi se rattacher aux collines de la rive droite du Rhône; il faudrait seulement en conclure que les plis subpyrénéens représentent la zone de convergence de ces collines et des collines provençales.

Je commencerai donc l'énumération annoncée par les Pyrénées; de là je passerai aux Alpes Françaises, aux Alpes Suisses, puis aux Alpes Bavaroises, pour arriver aux Carpathes, dont les travaux de M. Suess ont montré la liaison avec les chaînes alpines.

1° Versant septentrional des Pyrénées.

Pli couché de Bugarach.

On ne connaît encore, en avant de la chaîne pyrénéenne, qu'un seul exemple de pli couché avec recouvrement. Il a été décrit par M. Carez (2). C'est le Pic de Bugarach, et la région voisine située au sud du massif primaire des Corbières, qui fournit cet exemple.

Au nord (coupe, *fig.* 102), sur le massif ancien des Corbières, s'appuient les argiles bariolées et les cargneules du Trias, surmontées directement et en concordance par le Cénomanien à Caprines; au-dessus vient la série régulière du

(1) *Notes sur la structure des Corbières* (*Bull. Service Carte géol.*, t. II, n° 17, 1890-91, p. 283 et suiv.).

(2) *Note sur l'existence de phénomènes de recouvrement dans les Pyrénées de l'Aude* (*Bull. Service Carte géol.*, t. I, n° 3, 1889-90, cartes et coupes).

Turonien et du Sénonien; l'inclinaison moyenne de ces couches est de 45° vers le sud.

Puis une grande faille longitudinale, orientée comme direction générale de l'est à l'ouest, fait reparaître le Jurassique, également incliné vers le sud, mais avec une pente un peu plus forte; ce Jurassique plonge sous le Crétacé, mais ce Crétacé est précisément réduit aux termes qui faisaient défaut dans la série septentrionale, c'est-à-dire à l'Urgonien, à l'Aptien et au Gault; le Gault forme une vallée synclinale, au sud de laquelle les couches se relèvent vers le massif pyrénéen, et l'Urgonien reparaît au sud, butant contre les schistes cristallins.

La faille se détourne et forme au nord une boucle allongée, enveloppant le Pic de Bugarach, qui se présente ainsi comme un promontoire large de 2^{km},

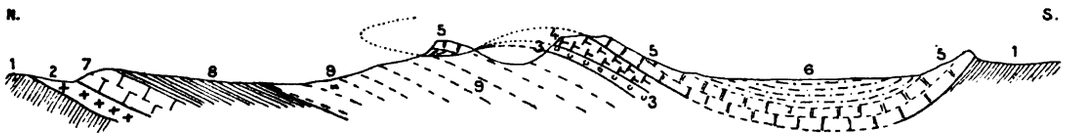


Fig. 102. — Coupe du bord des Corbières à la vallée de Saint-Paul-de-Fenouillet.

1. Schistes cristallins et primaires; 2. Trias; 3. Lias; 4. Jurassique; 5. Urgonien; 6. Gault; 7. Cénomanien; 8. Turonien; 9. Sénonien.

Échelle des longueurs = 1 : 80 000 environ.

comme une *presqu'île* s'avançant au milieu des marnes sénoniennes. De plus, dans la plaine sénonienne, jusqu'à une distance de 2 ou 3^{km} en avant de la faille, une série de petits mamelons sont couronnés par des calcaires durs, blancs, semi-cristallins, formant des îlots au milieu du Sénonien.

D'après M. Carez, ces calcaires blancs, *superposés* au Sénonien, appartiennent à l'Urgonien et renferment *Orbitolina conoidea*. Dans quelques-uns de ces lambeaux (1), la sédimentation horizontale de ces calcaires contraste avec le pendage du Sénonien, qui n'est pas modifié par leur voisinage. Dans d'autres, au contraire (2), près de Camps par exemple, il y a superposition concordante de l'Urgonien sur les marnes sénoniennes.

Dans la coupe du Pic de Bugarach (*fig.* 103), le pli formé par les couches jurassiques du sommet ne peut s'observer qu'à distance, et par des éclaircements favorables, sur le flanc de la falaise inabordable; le manteau urgonien qui couvre le versant nord semblerait montrer qu'on est là dans le voisinage de la courbure anticlinale. Cet Urgonien devrait se replier sous le Jurassique, mais il semble avoir disparu à la base du massif jurassique par suite de l'étire-

(1) Carez. Mém. cité, fig. 2.
(2) *Ibid.*, fig. 3.

ment du flanc renversé. Malgré l'absence de termes renversés, et malgré les doutes qui subsistent sur la détermination de quelques terrains, l'interprétation

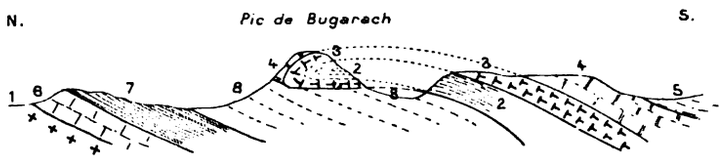


FIG. 103. — Coupe passant par le Pic de Bugarach (en partie d'après M. Carez).

1. Trias; 2. Lias; 3. Jurassique; 4. Urgonien; 5. Gault; 6. Cénomanien; 7. Turonien; 8. Sénonien.

Échelle des longueurs = 1 : 80 000 environ.

par un pli couché, telle que la donne M. Carez, semble s'imposer. Je dois pourtant ajouter que ces conclusions ont été récemment contestées par M. Roussel (1).

2° Les Alpes Françaises.

Zone de torsion des Alpes Maritimes.

La première région qu'on rencontre, à l'est de la Provence, en suivant la ligne précédemment indiquée, est celle des Alpes Maritimes. Là, les plis se retournent un moment vers le nord, avant de revenir vers l'ouest; on est donc dans une zone de torsion, où l'on doit s'attendre à trouver des étirements considérables et des recouvrements au moins locaux. La part des torsions et des renversements n'a pas encore été faite, du moins avec assez de précision pour qu'on puisse déjà suivre le dessin horizontal et interpréter la coupe verticale de chacun des plis. Il semble pourtant bien qu'on doive rattacher la structure

Probabilité d'un pli couché au Mont-Agel.

du Mont-Agel, au nord de Monaco, à l'existence d'un pli couché. La montagne, sur tout le parcours de ses flancs, est formée de Sénonien, et le sommet est formé d'Infralias surmonté par des dolomies bathoniennes et oxfordiennes.

Sinuosités des plis dans les environs de Castellane.

A Castellane, les plis, dirigés de l'est à l'ouest tout le long de la vallée de l'Estéron, se contournent de nouveau vers le nord, et ces torsions, particulièrement brusques, donnent lieu à des apparences extraordinaires, à des suppressions inattendues de toute la série jurassique et crétacée, suivant des lignes dont les sinuosités écartent tout rapprochement avec les failles ordinaires. Ces plis tordus n'ont pas encore été décrits, et leur étude demanderait tout un Mémoire spécial. J'indique seulement l'anticlinal de Castillon, qui fait surgir une

(1). J. ROUSSEL, *Observations sur les terrains secondaires et les terrains primaires des Corbières* (*Bull. Soc. géol. de Fr.*, 3e série, t. XIX, 1890-91, p. 191 et suiv.).

muraille jurassique semi-circulaire au milieu des marnes néocomiennes; celui des Lioux et de Gévaudan qui, marqué d'abord par une simple faille, séparant l'Aptien ou le Néocomien de la série jurassique complète, se prolonge par une bande sinueuse de Trias isolée entre le Cénomanien et le Néocomien; celui de la Blache et de la Jabie, qui à son extrémité orientale se contourne autour du Mont-Destourbes, et à son extrémité occidentale fait encore apparaître du Trias et du gypse entre le Nummulitique et le Crétacé supérieur, sans qu'aucun indice permette de le prolonger plus loin. Cette bande triasique isolée est d'autant plus extraordinaire qu'elle se présente, au point où elle atteint la grande route de Barrême, sous forme de synclinal, couché vers le nord (*fig.* 104) et englo-

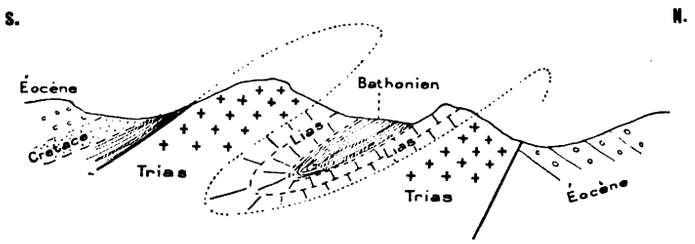


FIG. 104. — Coupe prise aux environs de Castellane.

Échelle des longueurs = 1 : 20 000 environ.

bant des marnes bathoniennes. Enfin le pli de Taulanne et de Blieux, qui est, sur une partie de son parcours, jalonné par la grande faille qui longe le ruisseau de Blieux, s'*invagine* brusquement, dans une boucle de 6^{km} de long, autour de la montagne de Taloire, pour revenir suivre plus loin sa direction première. L'extrémité de la boucle est encore marquée par une sorte de filon de Marnes irisées et de gypse au milieu du Crétacé.

Ces mouvements de torsion, qui nulle part, à ma connaissance, n'atteignent une exagération aussi frappante et ne peuvent s'étudier avec autant de netteté, supposent, comme je l'ai déjà dit, de grands déplacements horizontaux; on doit donc s'attendre à voir ces plis se coucher, au moins sur une partie de leurs parcours, et à trouver dans la région des phénomènes de recouvrement. M. Zürcher y a trouvé, en effet, au-dessus de Bravals, à l'ouest de Castellane, un lambeau de Muschelkalk qui *repose* sur le Nummulitique. De plus, à la Jabie, au nord-est de Castellane, on voit les couches du Lias et du Bathonien se recourber sur elles-mêmes en dessinant la charnière d'un grand pli couché horizontalement (⊃). Mais ces phénomènes sont locaux, et leur rôle, sans doute parce que les plis sont trop rapprochés, trop étroitement pressés les uns contre les autres, semble jusqu'ici secondaire et subordonné à celui de la torsion.

Phénomènes locaux de recouvrement.

A Barcelonnette, c'est-à-dire dans une région plus rapprochée des massifs

Ilot de Barcelonnette.

cristallins, on observe un large massif de Trias et de Jurassique (¹) à peu près isolé au milieu du Flysch (éocène supérieur), et se présentant un peu, quoique avec des dimensions au moins dix fois plus grandes, comme l'îlot triasique du Beausset dans le bassin sénonien de la Provence. Il y a entre les deux des analogies frappantes, par exemple la présence de lambeaux de terrains renversés au contact du Trias et du Nummulitique. Mais cette masse jurassique se rattache à l'ouest à des affleurements jurassiques plus étendus, où l'on n'a pas pu découvrir de trace de pli couché. L'interprétation qui, d'après les données actuelles, semble la plus probable, c'est qu'il y aurait là une combinaison des phénomènes de torsion avec ceux de renversement.

Sommets de la Cavale et du Soleil-Biou, au pied du Pelvoux.

Il faut encore signaler, plus au nord, mais dans la même bande nummulitique que celle de Barcelonnette, au pied du Pelvoux, les deux sommets formés de calcaires jurassiques (la Cavale et le Soleil-Biou), qui selon toute probabilité sont des *lambeaux de recouvrement*. Voici la description qu'en donne Charles Lory, en signalant la difficulté comme « assez embarrassante » (²) :

Au sommet du grand escarpement de grès nummulitiques du massif de Chaillol, à une hauteur de 2355^{m}, « on trouve un talus peu étendu, formé de calcaires marneux feuilletés, d'un noir bleuâtre, puis une grande masse abrupte de calcaires compacts de même teinte... ; cette roche forme la crête de la Cavale. Les couches de grès semblent s'enfoncer sous cette masse calcaire et la supporter de toutes parts; cependant, on remarque que les assises du grès ne paraissent pas notablement bouleversées, tandis que les calcaires de la crête supérieure sont en couches arquées et assez fortement inclinées vers le N.E. ». Pour Lory, d'après les traces de fossiles qu'il y a rencontrées, cette crête de la Cavale « serait un lambeau de calcaire oxfordien, qui, au premier abord, *semble* reposer sur les grès nummulitiques ».

Les mêmes apparences se reproduisent au Soleil-Biou (2647^{m}), pic consistant en une masse isolée de calcaire compact, dans lequel Lory a trouvé des fragments reconnaissables d'*Ammonites plicatilis* et d'*Aptychus* (³). Là encore, cette masse calcaire semble reposer sur une assise de marnes sableuses, feuilletées, noirâtres, qui l'entourent à sa base, et ces marnes elles-mêmes reposent sur des grès mouchetés, certainement nummulitiques, qui sur le versant de Touron sont en couches presque horizontales.

D'après Lory, le Nummulitique serait dans cette région complètement discordant avec les formations plus anciennes, reposant indifféremment sur le gneiss ou sur le Jurassique; il aurait comblé les dépressions d'un fond de mer très inégal, et les calcaires jurassiques de la Cavale et du Soleil-Biou auraient formé

(¹) Gorkt, *Géologie du bassin de l'Ubaye* (*Bull. Soc. géol. de Fr.*, 3^{e} série, t. XV, 1886-87, p. 539-555, pl. X : carte géol.).

(²) *Description géologique du Dauphiné*. In-8°, 2^{e} Partie, 1861, p. 474.

(³) Même Ouvrage, p. 475.

des *écueils* dans la mer nummulitique. Cette explication me paraît tout à fait inadmissible : le Nummulitique de cette région est fortement plissé ; il s'enfonce sous le Jurassique à Vallouise; il dessine un pli synclinal couché près de Guillestre; la présence d'un obstacle résistant, comme l'eût été une montagne plus ancienne, au milieu de ces couches, aurait déterminé dans son voisinage des froissements complexes et multiples, et n'aurait pu dans aucun cas y laisser les assises régulièrement horizontales.

Ilots de Sulens et des Annes, à l'est d'Annecy.

En montant encore plus au nord, on arrive près d'Annecy en face des derniers contreforts du Mont-Blanc. Là s'ouvre, entre le Borne et l'Arve, de Faverges à Cluses, une large dépression synclinale, remplie de nouveau par le Nummulitique et le Flysch. Au milieu de ces couches tertiaires se dressent encore deux massifs jurassiques isolés, avec Trias et Infralias à la base et Lias au sommet. Depuis longtemps, Alphonse Favre a fait remarquer que le Flysch semblait s'enfoncer de toutes parts sous ces massifs; voyant là une impossibilité (que l'étude des plis couchés a dissipée), et répugnant à admettre une discordance locale, il a simplement signalé le fait sans chercher à l'expliquer.

Les études de M. Hollande (1) et surtout celles de M. Maillard (2) viennent de faire connaître avec plus de détails ces intéressants massifs. Il en résulte qu'en plusieurs points des *couches intermédiaires renversées,* et notamment du Sénonien, apparaissent au contact du Trias et du Tertiaire. M. Maillard vient de discuter, d'une manière très complète, l'hypothèse d'un pli couché et celle d'un écueil préexistant, dont les couches auraient été deux fois plissées, avant et après le dépôt de l'Éocène, et auraient subi, dans le soulèvement définitif de la chaîne, « un ridement secondaire et plus intense ».

La coupe qui résume cette seconde explication (3) me paraît bien invraisemblable : il faudrait non seulement admettre l'existence locale d'un écueil, mais encore supposer que le massif a été soulevé tout d'une pièce, en traversant et perçant comme un coin les couches plus récentes. La figure, se rapportant nécessairement à un plan unique, ne montre même qu'une partie des invraisemblances; il faudrait que ce coin, au lieu d'écarter au moins sur une portion de son contour les terrains traversés, les ait partout amenés à se renverser et, par conséquent, à converger au-dessous de lui. Un tronc de cône faisant trouée par sa base la plus large, créant, par suite, un vide entre lui et les terrains traversés, et forçant les couches qu'il a soulevées à venir s'enfouir dans ce vide pour le combler, c'est là une impossibilité mécanique, qui suffit à faire rejeter

(1) *Étude stratigraphique des montagnes jurassiques de Sulens et des Almes* (*Bull. Soc. géol. de Fr.*, 3e série, t. XVIII, 1888-89, p. 690-718).

(2) *Note sur la géologie des environs d'Annecy, La Roche, Bonneville et de la région comprise entre le Buet et Sallanches* (*Bull. Service Carte géol.*, t. I, n° 6, 1889-90, p. 21-27 et pl. V).

(3) Mémoire cité, pl. V, fig. 1.

l'hypothèse, même si l'on n'en entrevoyait pas d'autre qui puisse expliquer les faits observés. Encore la chose pourrait-elle se concevoir s'il s'agissait d'une bande longitudinale, perpendiculaire aux compressions; mais dans tous les points voisins, où le Nummulitique repose en concordance sur le Crétacé, il n'y a pas trace qu'un soulèvement, même moins important, se soit produit entre les deux îlots des Annes et de Sulens. Et si les îlots préexistaient à leur hauteur relative actuelle, ce sont des mers de plus de 1000^{m} de profondeur qu'il faudrait supposer.

Il est vrai que l'explication par un pli couché soulève aussi de sérieuses difficultés. M. Maillard voit une première objection dans le repli secondaire du Trias, représenté dans sa seconde coupe (1) : « L'extrémité d'un pli couché, dit-il, constitue une zone d'étirement moins fort il est vrai que sur les flancs même, mais qui, à coup sûr, laisse peu de possibilité pour la formation de semblables replis ». L'exemple de la Croix de Solliès, sans parler de celui du Glärnisch, en Suisse, répond à cette objection; mais, d'un autre côté, M. Maillard cite un point où l'on pourrait observer la discordance angulaire du Flysch sur le Lias (Chapelle de la Duche). Ce gisement, dont la position me semble bizarre dans toutes les hypothèses, demanderait à être vérifié. De plus, M. Haug a fait remarquer que le faciès du Lias des Annes est différent du faciès schisteux qu'on observe uniformément tout le long de la bande dont on est d'abord tenté de la faire venir, et notamment du côté de Mégève. C'est là une considération à laquelle les nouvelles études de M. Haug, sur les distributions des faciès dans les Alpes Françaises, donnent une grande importance. Elle force à ajourner toute solution définitive de la question; car si, mécaniquement, l'explication par un pli couché semble s'imposer, stratigraphiquement on ne voit pas d'où serait venu ce pli couché, où l'on pourrait fixer la place de son noyau dénudé.

Ce qui reste incontestable, c'est l'existence dans toute cette région de grands déplacements horizontaux, mis en évidence par les prodigieux replis des couches, dont on voit un bel exemple à la Cascade d'Arpenaz. Les traces de ces mouvements sont encore plus nettes quand, en suivant la même ligne d'accidents, on passe en Suisse et qu'on arrive à la Dent du Midi.

3° Alpes Suisses et Bavaroises.

Coupes de la Dent du Midi.

Les coupes de la Dent du Midi données par M. Schardt (2) montrent avec certitude, comme je viens de le dire, l'existence d'un pli couché en avant du

(1) Mémoire cité, fig. 2.

(2) *Matériaux pour la Carte géologique de la Suisse*. XXII^{e} Livraison, 1887. Atlas, pl. XVIII, fig. 1, 2 et 3.

Brévent, c'est-à-dire en avant de la chaîne du Mont-Blanc; elles fournissent donc une nouvelle présomption en faveur de l'interprétation donnée pour les massifs des Annes et de Sulens, en face de la prolongation sud de la même chaîne.

Ce pli couché de la Dent du Midi et des Tours Sallières fournit des données nouvelles sur les complications possibles de ces grands mouvements; il montre, en effet, outre le développement des replis et froissements secondaires, *l'étirement complet du flanc inférieur du synclinal recouvert.* J'avais bien signalé déjà des cas d'étirement semblable, au pli d'Allauch et en différents points de la bordure de la plaine permienne de Toulon, Cuers et Fréjus, notamment au Cannet-du-Luc. Mais ici, tous ces exemples sont dépassés de bien loin : *le Nummulitique,* par l'intermédiaire de quelques mètres de cargneules, *repose directement sur le gneiss,* et comme le Jurassique et le Crétacé s'intercalent à peu de distance au nord et au sud, à Mex et au Buet, comme de plus ce Nummulitique est *surmonté*, en ce point même, par la série complète des couches crétacées et jurassiques, il est impossible de supposer que les étages qui font défaut ne se soient pas déposés en ce point, et que leur absence ne soit pas le résultat d'un étirement par glissement. Au-dessus de ce Nummulitique viennent, en ordre inversé, l'Urgonien, le Néocomien et le Jurassique supérieur, fortement réduits, puis la masse énorme des schistes bajociens et liasiques; la masse superposée à l'Éocène n'a pas, aux Tours Sallières, moins de *mille mètres* d'épaisseur.

Étirement complet du flanc inférieur du pli synclinal recouvert.

C'est encore un problème non résolu que de savoir comment ces faits de recouvrement se poursuivent au sud, et comment le Nummulitique qui supporte les Tours Sallières va se raccorder en profondeur avec celui de la vallée du Giffre. Mais, en tout cas, il ne peut être douteux que le pli de la Dent du Midi ne se continue au nord par celui de la Dent de Morcles et du Grand Mœveran (1). Seulement la chaîne a tourné, et le déversement, au lieu de se faire vers l'ouest, se fait vers le nord-ouest et vers le nord.

Ce pli de Morcles reproduit avec une moindre exagération les phénomènes observés à la Dent du Midi : les contournements secondaires des masses superposées à l'Éocène (Dent de Morcles, paroi du Grand Mœveran), et l'étirement du flanc inférieur du synclinal. Au-dessus des cargneules, une centaine de mètres de calcaires jurassiques séparent seuls ces cargneules du Flysch, quand il est évident, d'après la coupe (2), que le Crétacé inférieur et le Nummulitique ont dû se déposer en ce point. De plus, on voit là clairement que le pli couché

Pli de Morcles et du Grand Mœveran.

(1) E. Renevier, *Monographie des Hautes-Alpes Vaudoises* (*Matériaux pour la Carte géol. de la Suisse,* XVI[e] Livraison, 1890).

(2) Même Ouvrage, pl. VI, coupe n° 13.

n'a pour ainsi dire pas de noyau vertical, et que, par conséquent, après la dénudation des masses de recouvrement, il ne doit plus laisser de trace.

La longueur du cheminement horizontal est ici difficile à évaluer, parce que le pli, s'infléchissant en ce point vers le nord-est, n'a pas de direction nettement déterminée, et que les coupes naturelles, au lieu d'être transversales et normales à cette direction, lui sont plus ou moins obliques. De plus, au nord-est, le massif cristallin s'abaisse sous les terrains secondaires, et avec lui le Nummulitique qu'il supporte ; le pli, ainsi que j'en ai plusieurs fois montré la possibilité, est en réalité masqué par la continuité de la nappe de recouvrement avec la retombée normale qui se fait vers la vallée du Rhône. Ce qu'on observe, ce sont seulement des froissements secondaires de cette nappe de recouvrement, comme ceux que montre la coupe des Tours Sallières et de la Dent du Midi, et si, comme on est tenté de le faire, on les prenait pour la prolongation du pli principal, on arriverait probablement à évaluer bien au-dessous de la réalité la pénétration de l'Éocène au-dessous des massifs qui bordent au nord la vallée du Rhône.

Partie comprise entre le massif du Mont-Blanc et celui des Alpes Bernoises.

D'ailleurs, toute cette partie, qui s'étend entre la fin du massif du Mont-Blanc et le commencement des Alpes Bernoises, doit être considérée comme très imparfaitement connue, quoique la Carte géologique à 1 : 100000 en ait été terminée; aucun essai n'a été fait d'en publier des coupes d'ensemble et de raccorder ces coupes entre elles.

Massif des Alpes Bernoises; coins de calcaire jurassique dans les gneiss.

Avec le massif des Alpes Bernoises reparaissent dans les affleurements les traces du même grand pli anticlinal. Les coins célèbres de calcaire jurassique, métamorphosé et transformé en marbre cristallin, qui pénètrent horizontalement de plusieurs kilomètres dons les gneiss (*fig.* 105), ne doivent être consi-

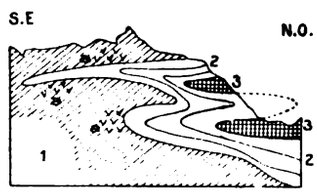


FIG. 105. — Schéma des coins calcaires de l'Oberland Bernois, d'après A. Baltzer.

1. Gneiss; 2. Calcaires jurassiques; 3. Grès tertiaire;
a a. Parties où l'orientation des lames de mica devient confuse.

Échelle = 1 : 200 000 environ.

dérés que *comme des plis secondaires,* à la base du grand synclinal que ce pli recouvre. Mais ici, comme au pied des Tours Sallières, la place de ce synclinal n'est marquée que par une bande étroite de Nummulitique, qui suit le pied de la chaîne gneissique entre Grindelwald et Rosenlaui. De l'autre côté de cette

bande se dresse la chaîne jurassique du Faulhorn et du Schwarzhorn, elle-même très plissée, et sous laquelle il est évident que le Nummulitique pénètre plus ou moins profondément. Une coupe montrant ces rapports extraordinaires a été donnée par M. Baltzer, qui n'a pas essayé d'y figurer les replis de la masse jurassique du Schwarzhorn (1). La pénétration du Nummulitique sous le massif est prouvée matériellement par les affleurements de Meiringen, et ne peut, par conséquent, être inférieure à 4 kilomètres.

Coupe de M. Baltzer. Pénétration du Nummulitique sous le massif du Faulhorn.

On voit sur cette figure que M. Baltzer suppose un double pli, un pli sud renversé vers le nord et un pli nord renversé vers le sud (2); cette question, qui est d'une importance capitale pour la géologie générale de la Suisse et pour l'appréciation des déplacements horizontaux qui s'y sont produits, ne peut être discutée que par la comparaison avec la région plus orientale des Alpes de Glaris. Cette dernière, qu'Escher de la Linth avait déjà fait connaître en partie, a été décrite en détail par M. Heim dans son bel Ouvrage, intitulé : *Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung* (3). Grâce à M. Heim, cette région est devenue classique, et c'est, on peut le dire, l'analyse magistrale qu'il y a faite des grands déplacements horizontaux et du mécanisme général des plis qui a donné le courage de croire à la réalité des *faits de recouvrement*, quand on les a retrouvés dans d'autres pays.

Hypothèse d'un double pli dans cette région et dans celle de Glaris.

A l'ouest des Alpes de Glaris, on trouve jusqu'au Tödi la continuation des terrains cristallins des Alpes Bernoises; mais plus à l'est, ces terrains cristallins disparaissent, comme ceux de la chaîne du Mont-Blanc à l'est de la Dent de Morcles; seulement, ici, la trace du pli anticlinal, dont la retombée normale descend toujours vers la vallée du Rhin, reste facile à reconnaître, à cause de la largeur du synclinal éocène sur lequel il continue à se renverser.

Cette première partie du pli, comprise entre la retombée sud et les affleurements nummulitiques (pli sud de M. Heim, portion figurée à droite de la coupe, *fig.* 106), ne présente pas dans son ensemble de particularité à noter; c'est un pli couché ordinaire, avec étirement de son flanc renversé, qui arrive à n'être plus représenté que par une bande étroite de calcaire métamorphique.

Description du double pli de Glaris.

Au delà de cette première partie, le fond du synclinal éocène s'abaisse brusquement, au Teufelsstock, au Gemsfeyrenstock, de plus de 1000^{m}, par une

(1) *Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz*, XX. Lieferung, 1880. Atlas, pl. XI, fig. 21.

(2) M. Baltzer dit même (p. 121) qu'on peut observer la charnière synclinale du pli renversé vers le sud. Les sinuosités secondaires des couches, figurées sur les coupes de M. Baltzer, enlèvent, il me semble, toute valeur décisive à cette observation. Tel contournement de couches, en effet, qui semble une charnière synclinale, parce que les couches les plus récentes y sont enveloppées par les plus anciennes, peut être en réalité, et malgré cette apparence, une *charnière anticlinale*, si le froissement qui a produit ce contournement s'est exercé sur une série inversée par le mouvement d'ensemble.

(3) 2 vol. in-4° et Atlas. Basel, 1878.

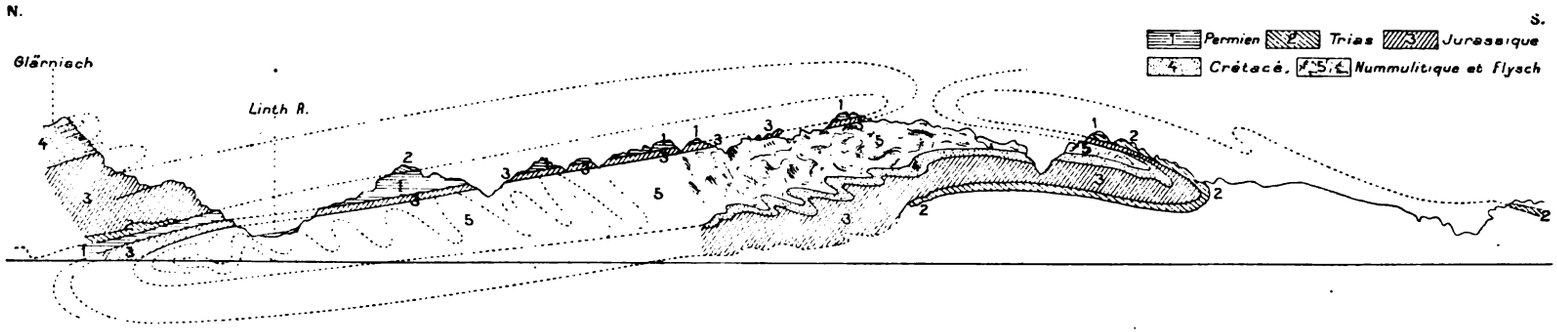


Fig. 106. — Coupe des Alpes de Glaris, d'après M. Heim.

(*Mechanismus der Gebirgsbildung*, Atlas, pl. VII, fig. 13 et *B. S. G. F.*, 3e série, t. XII, 1883-84, pl. XI, fig. 1.)

Échelle = 1 : 150 000.

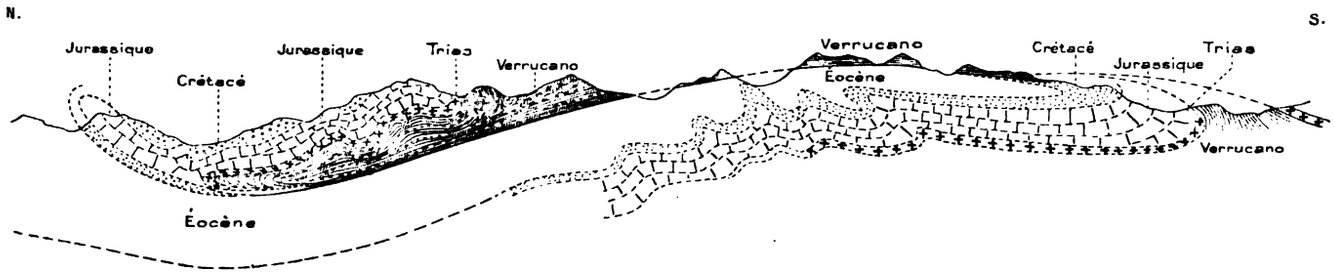


Fig. 107. — Coupe schématique des Alpes de Glaris dans l'hypothèse d'un pli unique.

Échelle = 1 : 200 000 environ.

série de plis secondaires, couchés dans le même sens que le grand pli, et dont les couches éocènes suivent les ondulations. Le Nummulitique, visible sur toute cette hauteur, est fortement plissé; ses bancs présentent toutes les inclinaisons, avec un pendage général vers le sud. Or, au-dessus de cette masse tourmentée, tous les sommets sont couronnés de Permien (Verrucano) à peu près horizontal, s'abaissant lentement vers le lac de Walenstadt, sous le Lias et le Jurassique. Entre le Permien et le Nummulitique existe partout la petite bande de calcaire métamorphique, qui en certains points se développe assez (quoique toujours très réduite) pour y laisser reconnaître les termes *renversés* de la série jurassique. Il y a donc là encore un pli couché (pli nord de M. Heim), qui, sur près de 15 kilomètres, a charrié le Permien et le Jurassique au-dessus de l'Éocène.

Charriage de 15 kilomètres.

Pour M. Heim, comme déjà pour Escher de la Linth, ces masses charriées viennent du nord; il y aurait dans cette région, comme le montre la coupe, deux grands plis distincts, qui, inclinés l'un vers le nord, l'autre vers le sud, enserrent comme dans un anneau presque fermé la masse des terrains tertiaires. L'un, le pli sud, correspondrait au grand anticlinal que nous cherchons à suivre depuis le Mont-Blanc; l'autre, le pli nord, n'aurait pas de correspondant dans la Suisse occidentale; dans la Suisse centrale, il se continuerait par le pli du Faulhorn, signalé à propos de la coupe de M. Baltzer.

Discordance de la nappe de recouvrement avec les terrains inférieurs.

Cette coupe, outre la grandeur des déplacements horizontaux, dont elle expose les résultats avec une incomparable clarté, montre de plus avec évidence la *discordance* de la nappe de recouvrement sur les terrains inférieurs; la surface de glissement vient en quelque sorte raser les têtes des plis nummulitiques, sans participer à aucune de leurs ondulations; c'est, sur une plus grande échelle, la répétition du phénomène observé au défilé de la Bouissière.

Discussion de l'hypothèse du double pli.

Mais il est une autre question, dont l'intérêt prime toutes les autres en face de cette coupe : comment concilier ce renversement des deux plis en sens contraire avec l'unité d'actions qui semble avoir présidé à la formation des chaînes? Et cette première question en appelle une seconde : est-il bien certain et bien prouvé qu'il y ait là deux plis distincts?

A la première question, M. Heim répond de la manière suivante : les compressions développées dans l'écorce terrestre doivent créer en chaque point des forces égales et opposées, parce que l'action est égale à la réaction; il n'y a donc pas à parler d'un sens déterminé pour les efforts orogéniques. Ce qui détermine le déversement d'un pli, c'est seulement le vide plus grand qui, d'un côté ou de l'autre, s'ouvre à ses pieds : un pli anticlinal se renverse sur le plus profond des deux plis synclinaux qui l'accompagnent. Si, à partir de l'axe d'une chaîne de montagnes, le fond des cuvettes synclinales s'abaisse progressivement vers la plaine, tous les plis seront renversés dans le même sens; mais si, pour une cause ou pour une autre, une des cuvettes synclinales intermédiaires s'est enfoncée

plus profondément à la fois que celle qui la précède et que celle qui la suit, c'est vers elle que se produira de part et d'autre la *poussée au vide;* c'est sur elle que se renverseront les deux plis anticlinaux voisins.

Cette théorie serait satisfaisante, s'il s'agissait uniquement d'expliquer une inclinaison plus ou moins grande des plis; mais les plis ne se couchent pas seulement, ils s'allongent et se déroulent, et il ne semble pas que la poussée au vide puisse suffire pour expliquer des glissements horizontaux et des déplacements de plusieurs kilomètres.

L'analogie avec la Provence ferait supposer que les deux plis ne seraient que les deux branches d'un même pli, qui aurait tourné de 180°.

Je proposerais volontiers une autre hypothèse, qui, elle non plus, il est vrai, n'explique rien théoriquement, mais qui aurait l'avantage de faire rentrer toutes les exceptions dans une règle générale. Le cas ordinaire est que chaque pli anticlinal se renverse sur le synclinal qui lui fait suite du côté opposé à l'axe de la chaîne; mais si le pli tourne de 180°, comme nous en avons vu des exemples en Provence, le renversement, pour se faire sur le même synclinal, devra se faire en sens opposé. Un changement dans le sens du renversement serait par conséquent l'indice d'une torsion des plis. Cette idée, suggérée par l'étude de la Provence, semble également confirmée par les observations faites dans les Alpes Apuennes, où M. De Stefani a montré tout un système de plis tournant autour du Monte Sumbra (1), en se renversant toujours vers ce pic central. Il serait intéressant de voir si la même formule ne s'appliquerait pas au double pli de Glaris, si, en d'autres termes, le pli nord ne serait pas la prolongation déviée du pli sud.

Convergence des lignes directrices dans la vallée du Rhin.

Il est certain que les deux lignes tracées par M. Heim, sans aucune idée semblable, pour marquer la limite de pénétration des deux plis sous le Permien, vont converger l'une vers l'autre et presque se rejoindre dans la vallée du Rhin (2). De plus, la ligne de faille qui, dans les Alpes Autrichiennes, marque d'une manière continue la limite septentrionale des affleurements triasiques, s'infléchit vers le sud en atteignant la vallée du Rhin, et va se contourner autour du Prättigau (3). Cette ligne marque la retombée d'un grand pli, dont la torsion est mise en évidence; la sinuosité supposée pour le pli de Glaris ne serait qu'une sinuosité concentrique, et par suite d'autant plus facile à admettre.

Il faudrait alors qu'un nouveau rebroussement, au-dessus d'Altorf, ramenât le pli dans sa direction première.

Il est vrai que, pour compléter une figure satisfaisante, il faudrait montrer que le pli se retourne une seconde fois vers l'est, comme le fait la faille mentionnée tout à l'heure, après avoir contourné le Rhätikon. Peut-être les dislocations exceptionnelles du massif du Wiggis et du Muottathal tiennent-elles à une cause de ce genre; il faut attendre le nouveau volume de M. Heim pour

(1) *Le pieghe delle Alpi Apuane.* In-8°, Firenze, 1889. Carte.

(2) *Mechanismus der Gebirgsbildung,* Atlas, pl. II : lignes marquées BB, CC.

(3) Voir le croquis publié dans Ed. Suess, *Das Antlitz der Erde,* t. I, 1885, p. 183, fig. 15 : Carte du Prättigau et du Rhätikon.

avoir des éléments suffisants de discussion. En tout cas, on peut remarquer que le pic qui termine à l'ouest le massif charrié par le pli nord au-dessus de l'Éocène, le Hagelstock au-dessus d'Altorf, forme un grand promontoire isolé, à couches très tourmentées, au milieu du Flysch, et cette disposition, que jusqu'ici M. Heim n'a pas expliquée, ne peut guère se comprendre que par un *rebroussement* du pli; à moins qu'on ne renonce à reconnaître au pli nord une individualité propre et que, suivant une suggestion qui date déjà de plusieurs années (1), on ne soit amené à voir, dans les montagnes du Glärnisch et de la Windgälle, non pas un nouveau pli déversé vers le sud, mais la continuation des masses de recouvrement charriées par le pli sud.

Hypothèse d'un pli unique.

Je ne pouvais me dispenser de poser cette seconde question et de la discuter, au moins sommairement; car, s'il n'y avait dans les Alpes de Glaris qu'un pli unique, le Nummulitique de la vallée de la Linth devrait aller rejoindre en profondeur celui qui fait au nord la bordure des grandes chaînes calcaires; il en serait de même, par analogie, de l'Éocène de Grindelwald; ce ne seraient plus des déplacements horizontaux de quinze, mais de *quarante kilomètres* qu'il faudrait supposer, et l'on arriverait à ce résultat effrayant qu'entre Interlaken et Glaris, toutes les grandes montagnes calcaires de la Suisse sont superposées à l'Éocène.

Elle amènerait à supposer des déplacements horizontaux de 40 kilomètres.

Il est certain qu'une pareille idée ne peut être acceptée que si elle s'appuie sur des preuves matérielles, et ces preuves n'existent pas; on peut seulement indiquer en sa faveur un certain nombre d'*inductions*, et ce ne sera que plus tard, quand les coupes des régions voisines seront mieux connues, quand elles pourront être comparées à celles des Alpes de Glaris, que les notions de continuité pourront intervenir pour juger de la valeur de ces inductions et fournir peut-être des arguments définitifs dans un sens ou dans l'autre.

D'abord, sur une longueur de plus de 20^{km}, à l'est de la vallée de la Linth, les têtes des deux plis supposés se font face si exactement, les affleurements permiens superposés au nord et au sud au Nummulitique continuent si rigoureusement la même surface, avec une interruption qui en certains points n'atteint pas du nord au sud 2^{km}, que la distinction des deux surfaces de glissement semble bien arbitraire; cela est si vrai qu'un piton isolé de Permien, le Hausstock, était rattaché par Escher au pli sud, tandis qu'il est rattaché par M. Heim au pli nord. Plus à l'ouest, près du Griesgletscher, la prolongation de la bande renversée du pli nord remonte sur les flancs du glacier à une hauteur de 2700^{m}, tandis que la reconstitution du pli sud, dénudé en ce point, ramènerait la bande correspondante au moins 500^{m} plus haut. Ces consi-

Les nappes qu'on suppose amenées par deux plis distincts sont tellement semblables et semblablement placées qu'il est difficile d'en préciser la séparation.

Exception au Griesgletscher.

(1) Marcel Bertrand, *Rapports de structure des Alpes de Glaris et du bassin houiller du Nord* (*Bull. Soc. géol. de Fr.*, 3^{e} série, t. XII, 1883-84, p. 318-330).

dérations n'ont pas, il est vrai, autant d'importance qu'il semble à première vue : de quelque côté que soient venues, en effet, les masses qui ont recouvert l'Éocène, leur niveau a dû être déterminé par celui de la surface primitive des couches recouvertes; et, à moins d'affaissements postérieurs, toutes les surfaces de glissement doivent sembler, dans les parties qui en sont restées observables, se raccorder en une même surface, celle sur laquelle ont eu lieu tous ces glissements, indépendants ou non.

Il est vrai aussi que les coupes de M. Heim nous montrent deux points où l'on semble saisir en quelque sorte sur le fait la réalité de son hypothèse. Au nord de la Windgälle, on voit la charnière anticlinale du pli sud, et il semble alors qu'il faille renoncer à l'idée de lui attribuer les phénomènes de recouvrement plus septentrionaux. De plus, au Griesgletscher, on voit également la charnière anticlinale du pli nord (1). Ce sont là deux arguments d'une grande force, auxquels pourtant on peut répondre que les plis dont on voit ainsi les charnières anticlinales pourraient n'être que des froissements secondaires au-dessous de la nappe unique de recouvrement. Cette surface a dû partout être plane primitivement, comme elle l'est encore restée entre le lac de Walenstadt et le Tödi; mais des plissements postérieurs ont pu l'accidenter et, par suite de l'inégalité des résistances, produire des froissements couchés dans des sens différents.

Sens dans lequel sont couchés les froissements et plis secondaires de la nappe de recouvrement.

Une objection assez sérieuse à la réalité du double pli consiste dans le sens uniforme des plissements du Nummulitique, et dans le sens des plis secondaires dont les masses jurassiques et crétacées, amenées en superposition anormale, sont, elles aussi, affectées. Supposons, en effet, que dans le flanc supérieur d'un grand pli couché, il se produise des froissements, ou des plissements secondaires, ainsi que nous l'avons constaté à la Croix de Solliès : il paraît évident que ces plis secondaires seront couchés *dans le même sens* que le grand pli. Or, sur le flanc supérieur du pli nord, ce sont des plis secondaires de ce genre qui forment le Mürtschenstock, et surtout la masse énorme du Glärnisch, et ces plis sont couchés *vers le nord,* et non vers le sud. Pour le Glärnisch, il est vrai, les coupes publiées montrent les plis couchés vers le sud; ces plis, en effet, traversent toute la montagne (*fig.* 108); la place des courbures anticlinales et synclinales était donc indéterminée, et on la déterminait dans les coupes, non d'après l'observation même de ces plis, mais d'après l'hypothèse générale adoptée pour la structure de la région. Or, M. Heim a pu trouver récemment l'affleurement d'une de ces courbures anticlinales, et constater que la convexité des couches, contrairement à ce qu'on avait cru pouvoir supposer, regardait le nord. C'est là, d'après moi, une grave objection; la valeur ne m'en paraît même pas diminuée par le fait que M. Heim nous montre, dans les Churfirsten

(1) *Mechanismus der Gebirgsbildung.* Atlas, pl. V, fig. 8.

et dans le Wiggis, l'existence de plis secondaires semblables couchés vers le sud. Tout au plus pourrait-on dire, si ces dernières coupes sont définitives, que, avec les données actuelles, l'hypothèse du pli unique se heurte à des objections aussi fortes que celle du double pli.

Difficulté d'expliquer la manière dont le pli nord est coupé par la vallée de la Reuss, ou comment deux rebroussements semblables se font face de part et d'autre de cette vallée.

Enfin, si l'on cherche à suivre le pli nord vers l'ouest, on trouve, comme je l'ai dit, que la masse des montagnes qui depuis le Glärnisch formaient son flanc supérieur, se trouve réduite au-dessus d'Altorf à un promontoire de calcaire jurassique isolé au milieu du Flysch. Et, de l'autre côté de la vallée de la Reuss, un promontoire semblable, l'Uri-Rothstock, fait face au précédent, s'avançant également en pointe dans le Flysch, qui, au fond de la vallée, se poursuit au nord sans interruption jusqu'au lac de Lucerne. Si le Hagelstock est posé sur le Flysch qui l'entoure, le noyau anticlinal du pli nord disparaîtrait là complètement, ce qui prouverait qu'il n'a pas d'existence propre. Si le Hagelstock

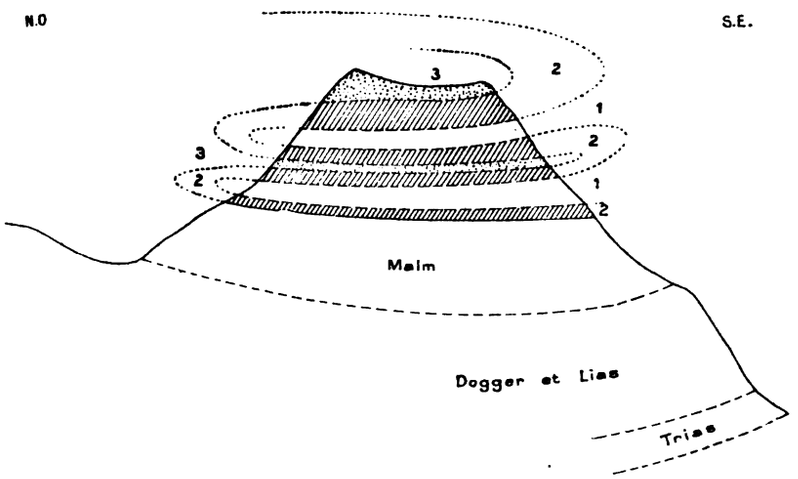


Fig. 108. — Coupe du Glärnisch, d'après M. Baltzer.

(*B. S. G. F.*, 3e série, t. XII, 1883-84, p. 327.)

1. Valanginien; 2. Hauterivien; 3. Urgonien.

Échelle = 1 : 50 000.

a racine en profondeur, et s'il représente un rebroussement du pli sud, il est inexplicable qu'un rebroussement tout semblable se produise, juste en face de lui, de l'autre côté de la vallée. Et enfin, si l'on veut supposer que le Hagelstock et l'Uri-Rothstock représentent la continuation du même pli, comment comprendre que le noyau de ce pli, sur l'emplacement de la vallée, c'est-à-dire sur une largeur de 10^{km}, s'abaisse brusquement de plus de deux mille mètres, de telle manière que la Reuss, en coupant la ligne de ce pli, n'ait mis au jour que des marnes éocènes?

Coupe schématique que supposerait un pli unique.

Il y a là une série d'impossibilités apparentes; tant qu'elles ne seront pas expliquées, le pli nord restera une hypothèse, et le pli sud seul a une existence bien démontrée. Pour aller plus loin, il faudrait montrer que toutes les particularités des coupes si complexes de la Suisse, depuis la Linth jusqu'à l'Aar, peuvent se ramener au schéma de la page 198 (*fig.* 107), qui serait en quelque sorte la coupe type de tout l'Oberland, de la région du lac de Lucerne et des Alpes de Glaris. C'est seulement après une longue étude personnelle de ces montagnes qu'on pourrait entreprendre cette discussion; la hardiesse est déjà grande d'avoir essayé d'en fixer le terrain.

Résumé sur le grand pli couché de la Dent du Midi et des Alpes Bernoises.

En tout cas, et en nous bornant maintenant aux faits incontestables et démontrés, les Alpes de Glaris nous montrent la continuation jusqu'à l'extrémité de la Suisse du grand pli couché de la Dent du Midi, et en outre elles montrent la trace de déplacements horizontaux qui atteignent 15^{km}. Elles présentent de plus un nouvel exemple de glissements de masses horizontales se faisant sur des couches plissées, ou, autrement dit, d'une discordance entre les terrains charriés et les terrains recouverts.

Zone des *Klippen* en avant de ce pli; difficultés encore inexpliquées.

Sur toute la longueur de la Suisse, au nord des chaînes dont nous venons de nous occuper, s'étend avec des largeurs variables une bande de Flysch, qui se prolonge en France dans le Chablais et qui, à l'est, continue à longer les chaînes calcaires des Alpes jusqu'aux environs de Vienne. En Suisse, un certain nombre de voûtes anticlinales, souvent très aiguës et brusquement coupées, font reparaître au milieu de cette bande des îlots isolés de terrains plus anciens, surtout crétacés ou jurassiques. Mais de plus, il s'y rencontre quelques îlots de moindre dimension, dans lesquels toute trace de structure anticlinale fait défaut, et dans la composition desquels entrent presque toujours, souvent même à l'exclusion de tout autre terrain, des gypses et des cargneules vraisemblablement triasiques. La dimension varie depuis celle de véritables montagnes, comme le Stanzerhorn, jusqu'à celle de simples blocs, qui semblent jetés sur la surface du Flysch. Ces îlots sont connus sous le nom de *Klippen* ou « écueils »; nulle explication satisfaisante de leur présence n'a été proposée. On les regarde en général comme des saillies du substratum du Flysch, que ces saillies aient été antérieures au dépôt du Flysch ou qu'elles résultent au contraire d'actions mécaniques postérieures. Studer y voyait les restes d'une chaîne plus ancienne, qui aurait été d'abord dénudée, puis comme engloutie en profondeur lors du soulèvement des Alpes. Pour beaucoup de ces îlots, les conditions de gisement sont de nature à faire croire qu'ils sont plutôt superposés au Flysch; au moins, sur une partie du pourtour, le Flysch s'enfonce sous les îlots. Mais si ces îlots étaient réellement superposés, il faut avouer qu'il serait impossible de comprendre *d'où ils sont venus*, de rétablir un pli couché qui pût expliquer leur présence. Il faut ajouter qu'en dehors de ces *Klippen*, dans la même zone, on trouve des *blocs exotiques*, certainement enfouis dans le Flysch, souvent trop volumineux pour qu'on puisse

Blocs exotiques.

attribuer leur transport à des glaciers, et descendant en d'autres points jusqu'à la dimension de simples galets, pincés dans les couches éocènes. Ces blocs offrent toujours des caractères pétrographiques différents de ceux que présente dans le voisinage la formation à laquelle leur nature minéralogique ou leurs fossiles les font rapporter : le granite d'Habkern (bloc de 1500 mètres cubes) n'aurait ses analogues les plus proches que dans la Forêt-Noire; des blocs du Malm ou de l'horizon à *Ammonites planorbis* rappellent le *facies alpin* plus que le *facies helvétique*. Il y a donc eu là certainement un transport, dont nous ne sommes en état de fixer ni la nature, ni l'âge. Comme rien jusqu'ici, ni pour les ***Klippen***, ni pour les blocs exotiques, n'autorise un rapprochement avec les masses de recouvrement, mais comme un tel rapprochement n'est cependant pas impossible, je me contente de mentionner ce problème encore pendant de la géologie suisse.

Coupe des Alpes Bavaroises.

Au delà de la ligne du Rhin, quand on passe des Alpes Suisses aux Alpes Bavaroises, on ne trouve plus de trace comparable des grands mouvements horizontaux que nous venons d'analyser. La coupe de la chaîne, sur plus de cent kilomètres de long, se montre d'une remarquable uniformité (*fig.* 109). La

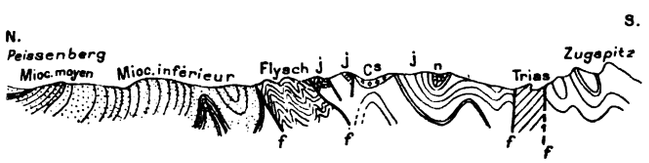


FIG. 109. — Coupe de la bordure des Alpes de Bavière, d'après C. W. Gümbel.
(*Geognostische Karte des Koenigreiches Bayern,* Erste Abtheilung, Bl. 1. München, 1858).

j. Jurassique; *n*. Néocomien (Couches de Rossfeld); *c*^{s}. Crétacé supérieur (Couches de Gosau).

Mollasse helvétienne plonge sous une zone de Flysch très tourmentée, dans laquelle apparaissent de temps en temps des anticlinaux crétacés, et la bande de Flysch elle-même plonge sous la masse de la grande chaîne calcaire, formée principalement de Trias. Dans la faille qui sépare le Flysch du Trias, des lambeaux jurassiques et même crétacés, renversés, ont été localement conservés; cette faille marque donc la retombée d'un pli anticlinal, dont le flanc normal subsiste seul ordinairement. C'est ce pli, avec sa faille de retombée, qui va, comme je l'ai dit, s'infléchir autour du Rhätikon et du Prattigau. Il ne semble nulle part avoir produit de déversements considérables; pourtant, les morceaux de calcaire triasique enfouis dans le Flysch (*fig.* 110) montrent que le surplomb de la faille, dans la partie dénudée, a été plus marqué qu'on n'en jugerait d'après les affleurements actuels.

Disparition des grands phénomènes de recouvrement.

On peut s'étonner de ce brusque arrêt de phénomènes aussi importants; il est bon, à ce sujet, de se rappeler les inductions auxquelles nous a menés l'étude

Elle peut tenir, comme près d'Allauch, à l'entraînement de la charnière synclinale dans le mouvement général vers le nord.

La torsion des plis autour du Rhätikon pourrait, comme celle du pli de la Sainte-Baume, indiquer un phénomène de ce genre.

du massif d'Allauch. Dans le mouvement d'entraînement vers le nord des masses superficielles, il peut se faire que le pli anticlinal couché soit seul entraîné, en étirant son flanc inférieur; mais il peut se faire que la charnière synclinale soit aussi entraînée, et alors la pénétration des étages supérieurs sous le pli anticlinal ne donne plus la mesure du déplacement subi. La torsion apparente du pli en S autour du Rhätikon pourrait bien indiquer un phénomène de ce genre, et alors les déplacements horizontaux n'auraient pas été moins importants dans les Alpes Bavaroises que dans les Alpes Suisses; mais ils se seraient faits en masse, au moins jusqu'à une profondeur plus grande, et l'observation

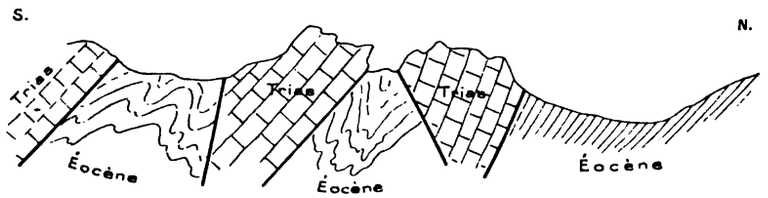


Fig. 110. — Rochers triasiques dans le Flysch des Alpes de Bavière (Warmatsgrund, Algäu), d'après C. W. Gümbel.

(*Geognostische Beschreibung des bayerischen Alpengebirges und seines Vorlandes.* Gotha, 1861, pl. XXXVIII, fig. 284).

de la surface ne permet plus de les reconnaître, ni d'en déterminer même la limite inférieure.

Plis couchés des Carpathes, en avant du Tatra.

Les Alpes Bavaroises et Autrichiennes se continuent par les Carpathes, avec cette différence que le massif central n'est conservé que dans la partie occidentale, dans la région du Tatra. En avant de ce massif cristallin, M. Uhlig vient de constater des phénomènes de recouvrement, tout à fait comparables, m'a-t-il écrit, à ceux du Beausset. Mais le détail de ces observations n'a pas encore été publié.

Résumé de la zone alpine.

En résumé, c'est des Pyrénées aux Carpathes, c'est-à-dire tout le long de la chaîne tertiaire européenne, que se poursuivent les mêmes phénomènes, avec des différences qui ne tiennent certainement pas seulement aux différences de dénudation, mais avec des exemples assez nombreux et assez semblables pour permettre de définir une véritable *zone de recouvrements* en avant de la chaîne; la partie allemande, où ces phénomènes paraissent s'atténuer, est séparée de la partie suisse par une ligne de torsion, qui tendrait à prouver que les mêmes mouvements s'y sont produits, mais moins superficiellement.

Tous ces plis couchés sont du même âge, quoique les derniers mouvements des Alpes soient postmiocènes.

Il y a une remarque importante à faire au sujet de la continuité de ces phénomènes : il pourrait sembler un peu arbitraire et fictif d'établir ainsi une liaison entre les Pyrénées et la Provence d'une part, où les grands mouvements se sont arrêtés avant le Miocène, et les Alpes, où la Mollasse est aussi énergiquement plissée que les terrains plus anciens. D'après les anciennes conceptions

orogéniques, le *soulèvement* des Pyrénées et de la Provence daterait de la fin de l'Éocène, celui des Alpes de la fin du Miocène; les plis couchés que nous avons étudiés ne seraient donc pas du même âge dans l'une et dans l'autre chaîne, et par conséquent, géologiquement parlant, il ne pourrait y avoir de continuité entre eux. Mais l'âge d'une chaîne de montagnes ne peut pas se définir ainsi d'un seul mot, parce que la formation d'une chaîne est en réalité une œuvre de longue haleine, résultant de mouvements échelonnés pendant plusieurs périodes géologiques. On peut aujourd'hui, dans les Alpes, et ce n'est pas un des moindres résultats des nouvelles études, faire la distinction au moins approchée de ces différents mouvements, et reconnaître qu'*ils ont toujours affecté des zones parallèles à la direction générale de la chaîne*. Ces zones se succèdent régulièrement de l'axe de la chaîne vers son bord extérieur; ainsi le massif central a été plissé avant le dépôt des terrains secondaires; la zone triasique des Alpes calcaires Bavaroises a été plissée avant le dépôt du Cénomanien; la zone du Flysch, avant le dépôt des terrains miocènes. Bien plus, on peut montrer que la zone triasique n'a pas été affectée par les mouvements miocènes, que la zone du Flysch ne l'a pas été par les mouvements antécénomaniens, en d'autres termes que ces mouvements ont bien été localisés dans leurs zones successives : tout se passe comme si un large mouvement d'ondulation s'était propagé lentement, avec arrêts intermittents, mais toujours dans le même sens, depuis l'axe de la chaîne jusqu'à ses bords. Ainsi la Mollasse, qui est fortement plissée tant qu'elle reste confinée sur le bord de la chaîne, bute horizontalement contre les plis du Trias et de l'Éocène, dès qu'elle pénètre dans son intérieur pour former le bassin de Vienne. De même, en France, la Mollasse, fortement relevée et concordante avec les autres étages sur le versant est de la vallée du Rhône, repose transgressivement sur le Jurassique plissé, quand, par la vallée de la Durance, elle pénètre plus avant dans la chaîne (environs d'Aix).

Ce n'est pas un seul grand pli, mais c'est un même phénomène géologique qu'on suit ainsi à travers la moitié de l'Europe.

Or, tous les plis couchés que nous avons étudiés, qu'ils soient renversés sur le Crétacé ou sur l'Éocène, se trouvent tous dans ce qu'on peut appeler la *zone du Flysch*, quoique l'Éocène fasse défaut dans les Corbières et le Flysch en Provence, c'est-à-dire dans la zone qui a été plissée à la fin de l'Éocène; ces plis doivent donc être, dans la mesure où l'on peut préciser l'âge des mouvements de plissement, considérés comme tous du même âge; et la continuité de cette grande ondulation, qui a couché les plis et charrié les terrains vers le nord, sur une longueur de 1500 kilomètres, est une continuité non seulement géographique, mais aussi géologique. Ce ne sont pas seulement des phénomènes analogues, c'est *le même phénomène* qu'on suit des Pyrénées aux Carpathes, à travers la moitié de l'Europe; et ce n'est pas exagérer de dire qu'il constitue un des traits les plus importants et les plus saillants de l'histoire des Alpes et de celle du continent européen.

4° Plis couchés du versant méridional des Alpes.

Versant méridional des Alpes : dissymétrie de la chaîne.

Le versant méridional des Alpes présente avec leur versant septentrional des différences, qui ont depuis longtemps frappé l'attention, et dont M. Suess a fait le point de départ d'une théorie nouvelle sur la dissymétrie des chaînes de montagnes. D'après cette théorie, une chaîne de montagnes provenant d'une poussée dirigée dans un sens déterminé (vers le nord, pour les chaînes européennes) se composerait de deux versants, l'un plissé et couché dans le sens de l'effort, l'autre sillonné de failles longitudinales qui l'ont, par gradins successifs, abîmé en profondeur, qui ont donné passage aux roches éruptives, et qui pendant de longues périodes déterminent les emplacements favoris des tremblements de terre. Sur ce versant, il peut aussi se produire des renversements et des recouvrements de terrains plus récents par des masses plus anciennes; mais, d'après M. Suess, ces renversements résulteraient seulement de la poussée au vide qui se produit autour des aires de dépression, et la preuve s'en trouverait dans ce fait qu'ils sont souvent dirigés dans un sens opposé à celui de l'effort général.

La même règle prévaut sur les deux versants pour le déversement des plis, c'est-à-dire qu'ils sont de part et d'autre couchés vers la plaine, et que la structure dans son ensemble est une structure en éventail.

La dissymétrie ordinaire des grandes chaînes est un fait indéniable; elle est frappante, même au simple point de vue de la géographie et du relief; mais les causes qui la motivent sont complexes, et il ne me semble pas qu'elle implique une dissymétrie dans le phénomène de plissement. Dans les Pyrénées comme dans les Alpes, le versant méridional est plissé aussi bien que le versant septentrional et, pour les deux versants, la même règle prévaut, c'est-à-dire que les plis s'échelonnent à partir de l'axe de la chaîne et sont couchés vers la plaine. Le sens général du déversement et des déplacements horizontaux, qui est vers le nord pour le versant nord, est vers le sud pour le versant sud; la structure des chaînes, prise dans son ensemble, est une *structure en éventail*. Quant à la dissymétrie, sans pouvoir discuter ici cette question en détail, elle me semblerait s'expliquer surtout par l'inégalité des tassements postérieurs.

Plis du versant sud des Pyrénées.

Pour les Pyrénées, je n'ai à citer que l'observation de M. de Margerie, qui a vu, sur le versant du Mont-Perdu, les plis se coucher horizontalement vers le sud (1). Pour les Alpes, les données sont plus nombreuses et plus précises.

Faible longueur sur laquelle on peut étudier le versant méridional des Alpes.

Le versant méridional des Alpes, en tant que zone sédimentaire, n'est connu que sur une faible longueur; tout autour de la haute vallée du Pô, depuis le Mont-Viso jusqu'au lac Majeur, il est masqué par les alluvions de la plaine ou par les terrains tertiaires discordants. Au lac Majeur, il commence à appa-

(1) *Notes géologiques sur la région du Mont-Perdu* (*Annuaire du Club Alpin français*, 13e année, 1886, p. 609-625).

raître en une bande étroite, qui s'élargit progressivement jusqu'à l'Adamello et à la grande cassure des Judicaries. Là, les terrains cristallins sont brusquement rejetés vers le nord, laissant la place aux grands plateaux dolomitiques du Trias, dont la continuation se fait par les chaînes plissées de l'Illyrie et du bord de l'Adriatique.

Le Tyrol. Grands plateaux dénivelés par des failles.

C'est donc surtout dans le Tyrol qu'il faut chercher le complet développement du versant sud des Alpes. Or le Tyrol se compose surtout de grands plateaux calcaires, à couches peu inclinées, profondément dénivelés de distance en distance par des failles longitudinales, dont le réseau, comme l'a montré M. Suess (1), entoure concentriquement la dépression adriatique. La structure du Tyrol rappelle, par beaucoup de ses traits, celle des plateaux de l'Utah, dans les Montagnes Rocheuses; c'est cette structure qui a été le point de départ de la théorie citée plus haut, de même que c'est la structure des plateaux de l'Utah qui a conduit les géologues américains à contester l'importance du rôle des compressions horizontales.

Témoins montrant que le Tyrol est une région de plis couchés profondément dénudés.

Mais, au sommet comme aux pieds des plateaux du Tyrol, il reste des lambeaux de plis couchés, qui suffisent à montrer que la véritable interprétation de cette structure, si simple en apparence, n'est pas celle qui s'offre immédiatement à l'esprit, et qui jusqu'ici avait été admise sans contestation : le Tyrol n'est pas une région où les couches, restées à peu près dans leur position horizontale primitive, ont seulement été dénivelées en gradins successifs sous l'action de la pesanteur; c'est une *région de plis couchés,* qui a été assez profondément dénudée pour ne laisser subsister que les flancs inférieurs de ces plis, et ne plus montrer, à la place de leurs noyaux, que des *failles verticales*. J'ai expliqué au début du Chapitre IV comment cette structure pouvait résulter de l'arasement des plis couchés (2); c'est ce que j'ai appelé le type n° 3.

Au nord des plateaux, il faut déjà signaler les coins de calcaire triasique dans les schistes phylliteux du Brenner (3). Dans la région même des plateaux, on ne connaît jusqu'ici qu'un pli couché, dont le centre seul a échappé à la dénudation; la connaissance en est due à M. Haug (4). Il s'observe dans le massif de la Gardenazza, au nord de l'ensemble des grands plateaux, dans l'Alpe de Puez, à 2800^{m} de hauteur. On voit là des lambeaux de Néocomien, en couches horizontales, reposer directement sur le Dachsteinkalk (Infralias), également horizontal. Mais, au nord, l'Infralias se relève en surplombant le lambeau, dont les couches, toujours peu inclinées, se replient sur elles-mêmes. On retrouve même

Massif de la Gardenazza; Alpe de Puez.

(1) *Das Antlitz der Erde,* t. I, 1885, p. 311-359.

(2) Voir ci-dessus, p. 55-58.

(3) Ed. Suess, Ouvrage cité, t. I, p. 323-325.

(4) *Die geologischen Verhältnisse der Neocomablagerungen der Puezalpe bei Corvara in Südtirol* (*Jahrb. der K. K. Geol. Reichsanstalt,* t. XXXVII, 1887, p. 245-280). Voir, en particulier, la figure 4, p. 252.

là, en petit, la reproduction des phénomènes les plus étonnants des coins des Alpes Bernoises : non seulement les calcaires néocomiens sont métamorphisés au contact, mais des lambeaux de ces calcaires sont pincés dans le Dachsteinkalk. On reconnaît sans ambiguïté la charnière synclinale d'un pli couché, et il est même permis de se demander si la lacune apparente entre l'Infralias et le Néocomien ne serait pas un effet d'étirement; le Jurassique, en tout cas, existe un peu plus à l'est, dans l'Alpe d'Ampezzo.

Pli couché de la Cima d'Asta.

Un second exemple se trouve beaucoup plus bas, au pied des plateaux, sur le bord de la plaine vénitienne. C'est celui du Torrente Maso, au pied de la Cima d'Asta. Le Jurassique, le Crétacé et l'Éocène, très réduits, plongent presque horizontalement sous les phyllades, qui semblent eux-mêmes s'enfoncer sous le granite (1). A peu de distance, au sud et au sud-est, dans les collines du Monte Picosta et de la Cima Lasta, on peut voir (2) le Crétacé supérieur (scaglia) surmonté en concordance par le Néocomien (biancone). On peut même se demander si les dénivellations, dues à des failles postérieures, ne masquent pas de grands plis couchés. Il faut avouer cependant que l'hypothèse d'une série de plis distincts est plus simple et que, par conséquent, à défaut de preuve contraire, elle doit être préférée.

Indications de renversements au sud de Lugano.

Les environs de Lugano et ceux d'Esino (lac de Côme) montrent aussi, quoique avec moins d'évidence, l'existence ou plutôt l'amorce de plis couchés. Dans cette région, on se trouve au voisinage même du contact des terrains cristallins; sur eux s'appuie le Permien, plongeant au sud sous le Muschelkalk, avec toutes les apparences de terrains peu bouleversés. Mais plusieurs indices permettent de reconnaître que ces couches se relevaient verticalement pour se renverser vers le sud. La dénudation a enlevé les parties supérieures des plis et n'a laissé subsister presque partout que des couches plus ou moins inclinées, mais dans l'ordre normal de stratification.

Au Monte San Salvatore, au sud de Lugano, on voit vers le sommet les dolomies du Trias inférieur, qui en forment la base, s'incliner de plus en plus, devenir verticales, et même se renverser en dessinant l'amorce d'un ↄ.

Sinuosités brusques dans les bancs horizontaux de Muschelkalk.

A l'est de Lugano, si l'on gravit le dernier contrefort du Monte Boglia en partant du lac, on rencontre, au milieu des bancs presque horizontaux du Muschelkalk, des sinuosités brusques qui, sur près de 1^m de longueur, ramènent le banc sur lui-même; la régularité de la stratification, momentanément disparue, reparaît quelques pas plus loin. Mais ces froissements dans des bancs calcaires et résistants, si restreints et limités qu'ils paraissent, ne peuvent guère être que le contre-coup d'actions plus considérables. Ils sont l'indice de déplacements

(1) E. Mojsisovics von Mojsvar, *Die Dolomitriffe von Südtirol und Venetien*. In-8°, Wien, 1879. Coupe de la p. 417.

(2) Même Ouvrage. Coupe de la p. 423.

horizontaux dans l'ensemble de la masse, et par suite impliquent, comme conséquence probable, l'existence d'un pli couché.

Coupes du Monte Grigna, à l'est du lac de Côme. Nouvelle interprétation.

Au Monte Grigna, le long du lac de Côme, M. Benecke a décrit de même les sinuosités répétées des bancs du Muschelkalk, qui forment le premier plateau, celui de Regoledo (1). Cette allure tourmentée contraste avec le pendage régulier des dolomies et calcaires d'Esino (Trias supérieur), qui constituent plus haut les escarpements du Monte San Defendente. M. Benecke suppose qu'une faille

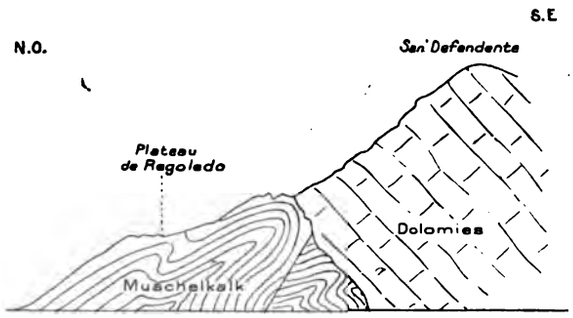


Fig. 111. — Coupe prise sur la rive orientale du lac de Côme, d'après E. W. Benecke (*Neues Jahrbuch für Mineralogie*, III. Beilage-Bd., 1885, pl. III, fig. 4.)

sépare les couches plissées de celles qui ne le sont pas (*fig.* 111), interprétation qui semble peu naturelle. Il m'a semblé que la stratification des dolomies était différente de celle qu'indique cette coupe, et qu'elles plongent en réalité sous le Muschelkalk ; comme confirmation, on voit près d'Esino les couches de Raibl

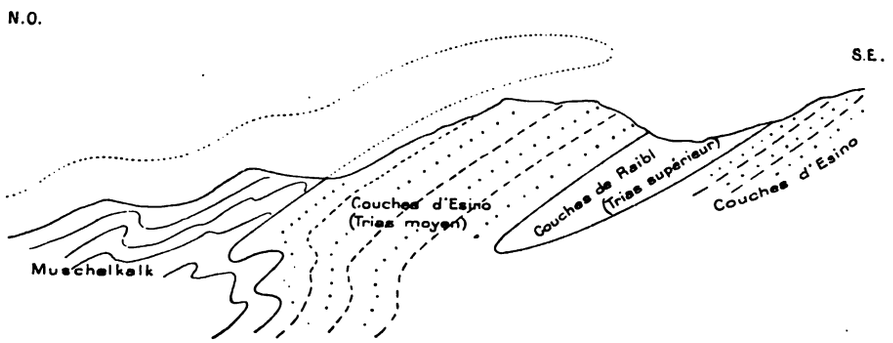


Fig. 112. — Disposition des couches triasiques aux environs de Regoledo (lac de Côme).

(Trias supérieur) plonger sous ces dolomies (*fig.* 112). M. Benecke, qui signale également ce fait, suppose que les dolomies du San Defendente, comme celles

(1) E. W. Benecke, *Erläuterungen zu einer geologischen Karte des Grigna-Gebirges* (*Neues Jahrb. f. Mineralogie*, III. Beilage-Bd., 1885, p. 213).

du Tyrol, représentent un récif corallien, qui se serait élevé plus vite que les formations du même âge au milieu des mers triasiques, et contre lequel les calcaires en plaquettes du Trias supérieur viendraient non pas s'enfoncer, mais buter. Mais les dolomies du San Defendente, bien litées et remplies de Diplopores, ne correspondent aucunement à l'idée d'un récif, et la coupe doit être modifiée de la manière qu'indique la figure 112. Les plis du Muschelkalk se comprennent bien alors : ce sont les froissements secondaires produits aux environs de la charnière synclinale, au moment où les couches sont forcées de se relever verticalement et de se renverser. Plus au sud, la grande faille du Monte Campione est la trace d'un nouveau pli, et la coupe, prise en un point où les froissements du Muschelkalk ne sont plus visibles, *parce que la charnière synclinale a été dénudée,* montre l'apparence tranquille et régulière qu'a prise la région, quoique primitivement plissée (1). La présence des parties plissées et renversées, quelque restreinte que soit leur étendue relative, ne me semble pas pouvoir s'expliquer autrement.

Coupe des Alpes Illyriennes; plis couchés vers l'Adriatique.

Enfin, je signalerai encore la coupe des Alpes Illyriennes, qui montre une série de plis couchés vers l'Adriatique (2). C'est la continuation, déviée vers le sud-est, des Alpes Tyroliennes; c'est aussi la continuation du versant méridional de la chaîne alpine (*sensu lato*), puisque cette chaîne, comme on sait, en arrivant à la Styrie, s'ouvre en un éventail qui embrasse la plaine hongroise et la Turquie. Cette coupe confirme donc les résultats précédents; et il est clair que cette succession de plis déroulés ne peut être un effet réflexe (*Rückfaltung*), dû seulement à l'enfoncement de la dépression adriatique.

Résumé du versant méridional des Alpes.

Le versant méridional des Alpes nous offre donc également des plis couchés, et couchés en sens inverse de ceux du versant nord; mais ces plis, plus profondément dénudés, ne se prêtent pas aussi bien à une étude détaillée du phénomène, et malgré la coupe de la Cima d'Asta, il est douteux que ces phénomènes aient atteint ici une amplitude comparable à celle que nous avons constatée sur l'autre versant des Alpes.

5° Plis couchés des Montagnes Rocheuses.

Région du 51e parallèle dans les Montagnes Rocheuses.

Je signale à cette place le pli couché, ou plutôt les phénomènes de recouvrement des Montagnes Rocheuses, parce que, comme ceux des Alpes et des Pyrénées, ils se rattachent à des mouvements tertiaires. J'ai dit plus haut quelle était l'importance théorique de cette constatation, dans une chaîne dont la

(1) Mémoire cité, pl. III, fig. 3.

(2) G. Stache, *Jahrb. der K. K. Geol. Reichsanstalt*, 1864, p. 56. Coupe reproduite dans F. von Hauer, *Die Geologie der Oesterr.-Ungar. Monarchie.* In-8°, Wien, 1875, p. 517, fig. 510.

structure semblait incompatible avec la prédominance des refoulements latéraux. Je me contenterai ici de reproduire les coupes de M. Mac Connell, en appelant seulement l'attention sur quelques différences bien frappantes avec les coupes européennes (1).

Dans cette région, au voisinage du 51e parallèle, la chaîne est formée par de grandes masses de calcaires cambriens et dévoniens; sur ces derniers, peut-être avec intercalation de quelques bancs carbonifères, repose directement le Crétacé avec Scaphites, Bélemnites et Inocérames. La concordance est si complète que la limite est difficile à préciser entre ce Crétacé et le Dévonien. La structure générale est celle d'ondulations à large courbure, avec failles longitudinales; auprès de la bande crétacée (Cascade Trough), cette structure fait place à un pendage uniforme vers l'ouest, qui laisse plusieurs fois reparaître les mêmes étages, mais sans montrer jamais de couches renversées. La structure de cette dernière partie (*Schuppenstructur*) peut s'interpréter comme due à une série de plis déjetés vers l'est, et dont les flancs renversés auraient été écrasés.

Pénétration du Crétacé sous le Cambrien. Déplacements horizontaux de plus de 5km.

L'enfoncement du Crétacé sous le Cambrien a été constaté sur une profondeur de plus de cinq kilomètres (*fig.* 113). Il n'y a pas de termes renversés; sur le Crétacé repose directement et en concordance le Cambrien, surmonté par tous les termes du Dévonien. Le Cambrien seul a une épaisseur réduite, mais

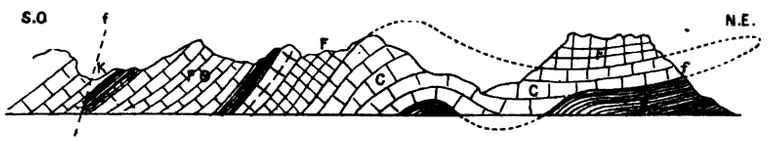


FIG. 113. — Coupe dans les Montagnes Rocheuses Canadiennes (Ghost River), d'après R. G. Mac Connell.

C. Cambrien; F. Dévonien FG. Dévonien-Carbonifère; K. Crétacé *ff.* Failles

Échelle (longueurs et hauteurs) = 1 : 125 000 environ.

seulement, semble-t-il, parce que ses termes inférieurs ont été supprimés par la faille; on n'a pas signalé de traces d'étirements ni de glissements secondaires parallèlement aux couches.

Il faut attendre des coupes plus nombreuses pour pouvoir discuter les conditions, en apparence très spéciales, dans lesquelles s'est produit le phénomène; mais les coupes de M. Mac Connell suffisent à montrer que le rôle des compressions et des déplacements horizontaux a été prépondérant dans la formation de cette partie de la chaîne.

(1) R. G. MAC CONNELL, *Report on the geological Structure of a portion of the Rocky Mountains* (*Geol. Survey of Canada, Annual Report,* new series, vol. II (1886), Rept. D, 1887).

Rareté des termes renversés et des zones étirées.

Plus à l'ouest, en s'éloignant des affleurements crétacés, le long de la Rivière aux Arcs (Bow River), il est bon de citer encore, comme confirmation de l'interprétation de la structure par des plis couchés, le seul exemple de renversement qu'ait figuré M. Mac Connell. La vallée est formée par les schistes et grès à *Olenellus*, formant un large anticlinal ouvert, et surmontés de part et d'autre par les calcaires à Paradoxides. Mais, en descendant cette vallée, on arrive à un point où les couches cambriennes, qui semblent toujours former la retombée du même anticlinal, vont reposer presque horizontalement sur le Dévonien inférieur réduit, tandis que ce dernier est supporté par les calcaires

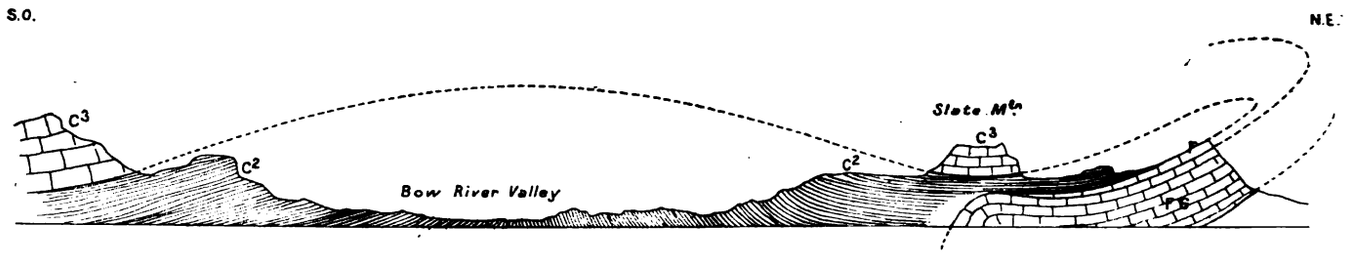


FIG. 114. — Coupe dans les Montagnes Rocheuses Canadiennes (Bow River), d'après R. G. Mac Connell.

C². Cambrien inférieur; C³. Cambrien supérieur; F. Dévonien; FG. Dévonien-Carbonifère.

Échelle (longueurs et hauteurs) = 1 : 125 000 environ.

du Dévonien supérieur (*fig.* 114). Il y a donc là pli couché, avec conservation d'une partie du flanc renversé, par conséquent dans des conditions qui rendent l'interprétation indubitable.

Possibilité de l'expliquer par la plus grande ancienneté des couches mises en mouvement.

Remarquons, pour terminer ce qui est relatif à cette région, que la particularité de ses coupes peut se résumer par l'absence des *zones d'étirement* et leur remplacement par des *failles d'étirement*. Ces coupes témoignent donc d'une plus grande tendance des terrains à se déplacer *en masse;* il pourrait se faire que la cause en soit dans la plus grande ancienneté des couches mises en mouvement, ces couches ayant eu le temps de se consolider et de se souder en un ensemble plus solidaire, où les surfaces des bancs seraient de moins en moins devenues des surfaces de glissement facile.

CHAPITRE VI.

PLIS COUCHÉS DES CHAINES PLUS ANCIENNES.

Résumé de l'échelonnement des chaînes anciennes en Europe.

En avant de la chaîne alpine, de la Silésie au Sud de l'Angleterre, s'étend une région où les couches secondaires et tertiaires ne sont qu'exceptionnellement plissées, où leurs inclinaisons variables témoignent plutôt d'affaissements inégaux, autour de bassins, circulaires ou allongés, tels que le bassin de Paris, la plaine du Rhin, la Bavière ou la Thuringe. De place en place, dans cette zone du continent européen, font saillie des massifs complètement discordants avec les terrains secondaires qui les bordent, formés de gneiss ou de terrains paléozoïques; ainsi la Bretagne, l'Ardenne, les Vosges, le Hartz et la Bohême. Ces massifs représentent les restes d'une ancienne chaîne de montagnes, en partie démantelée et masquée sous des dépôts plus récents, mais qui a eu une individualité et une continuité comparables à celles de la chaîne alpine, et qui a formé à la fin des temps primaires le trait saillant de la géographie européenne.

Chaîne houillère (hercynienne) et Chaîne silurienne (calédonienne).

Au nord de cette chaîne houillère, dans le Centre et le Nord des Iles Britanniques, de même que dans la Norvège, les couches carbonifères et dévoniennes ne sont affectées que de mouvements peu importants; là, au milieu des bassins remplis par les terrains houillers, le Calcaire carbonifère et le Vieux grès rouge font également saillie des massifs discordants de Silurien et de gneiss, fortement plissés, tels que le Pays de Galles, la chaîne de Moffat et les Grampians. Ces massifs représentent les débris d'une chaîne plus ancienne encore, datant de la fin de l'époque silurienne, et dont les sommets se dressaient seulement dans les parties les plus septentrionales du continent actuel.

Ces deux chaînes, ou zones de plissements, ont eu une histoire de tous points comparable à celle de la chaîne alpine; les parties conservées ne permettent, il est vrai, d'en étudier que les versants septentrionaux; mais on peut reconnaître que ce versant nord des deux chaînes est, comme celui des Alpes, formé d'une série de plis parallèles, tous couchés vers le nord, au moins dès que le déver-

sement atteint une certaine importance. Pour la chaîne houillère notamment, les analogies sont singulièrement augmentées et les rapprochements facilités par l'existence d'une bande de terrains, qui joue le même rôle que celle du Flysch dans les Alpes; cette bande, qui à tous les points de vue a une importance particulière, est celle des *bassins houillers*, qui se suivent en avant de la zone de plissements, dans le Pays de Galles et le Somerset, dans le Nord de la France et la Belgique, en Westphalie et, plus loin, en Silésie.

Plis couchés des chaînes anciennes; circonstances auxquelles est due leur conservation partielle.

Ces chaînes anciennes ont eu aussi leurs plis couchés; on peut non seulement le présumer par analogie, mais le vérifier avec une entière certitude. *A priori*, il est vrai, on devrait s'attendre à ce que ces plis couchés aient partout disparu par dénudation; nous savons, d'après les exemples précédents, combien facilement toute trace de ces phénomènes peut être supprimée, combien en d'autres termes les effets qui les caractérisent sont superficiels. Si cette disparition est le cas général pour le versant sud des Alpes, à plus forte raison devrait-il en être ainsi pour des plissements qui datent de la période primaire. Mais ces chaînes anciennes, soit qu'elles aient été moins élevées, au moins en Europe, soit qu'elles se soient tassées plus rapidement, ont été en partie recouvertes par les mers des périodes suivantes, qui les ont arasées sans doute dans leur mouvement d'invasion progressif, mais qui ensuite ont protégé contre la dénudation tout ce qui était au-dessous du niveau d'arasement. De plus, dans le tassement inégal de la chaîne, certaines parties ont été enfouies plus profondément et, par suite, plus longtemps conservées. La première de ces causes a agi également pour les deux chaînes; la seconde semble surtout avoir exercé son influence dans la chaîne houillère; quoi qu'il en soit, nous sommes en état, dans l'une et dans l'autre, de constater d'immenses déplacements horizontaux et de les comparer à ceux des Alpes.

1° Plis couchés de la chaîne houillère (chaîne hercynienne).

Coupe du bassin houiller franco-belge.

Le grand pli couché de la chaîne houillère a surtout été reconnu et mis en évidence, dans le bassin houiller franco-belge, par les travaux de recherche et d'exploitation de la houille. La structure générale du bassin, telle qu'elle a été exposée par M. Gosselet (1), peut se résumer ainsi (*fig.* 115) : une grande faille F, dite *faille du Midi*, plongeant au sud sous un angle variable, souvent très faible, et sur laquelle, près de Liége, les schistes siluriens reposent en concordance; une seconde faille L, dite *faille-limite*, peu inclinée sur la première, et

(1) *Sur la structure générale du bassin houiller franco-belge* (*Bull. Soc. géol. de Fr.*, 3e série, t. VIII, 1879-80, p. 505-511).

isolant avec elle une bande de Dévonien et de Carbonifère *renversés;* au nord, ou, si l'on veut, au-dessous de cette bande, des couches beaucoup plus récentes (houille grasse de Denain), présentant une série de plis et de *crochons* fortement accusés, et une stratification tout à fait indépendante des précédentes; enfin, une troisième faille R, la *faille* ou *cran de retour*, au nord de laquelle une série plus ancienne (houilles de Vicoigne et d'Anzin) repose sans plissements et régulièrement sur le Calcaire carbonifère.

Explication de M. Gosselet.

M. Gosselet rend compte ainsi qu'il suit de ces apparences compliquées : les schistes siluriens étaient déjà soulevés et plissés avant l'époque dévonienne, dont les dépôts se sont faits ainsi en discordance. Après l'époque houillère, le

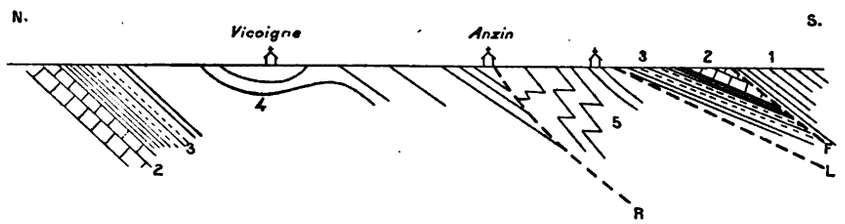


Fig. 115. — Coupe schématique du bassin d'Anzin, d'après M. Gosselet (*B. S. G. F.*, 3e série, t. VIII, 1879-80, p. 509, fig. 5).

1. Silurien et Dévonien inférieur; 3. Carbonifère; 5. Houille grasse de Denain; L. Faille-limite;
2. Dévonien; 4. Houille de Vicoigne; F. Faille du Midi; R. Cran de retour.

pli du Condros s'est accentué, puis renversé vers le nord; une brisure s'est produite suivant l'axe, et la partie supérieure, comme glissant sur un vaste plan incliné, a été refoulée et remontée bien loin vers le nord, en recouvrant les plis successifs de la région plus septentrionale. Dans ce mouvement, la masse refoulée a entraîné des lambeaux de la masse inférieure; en même temps que glissement, il y a eu *rabotage;* la partie ainsi entraînée est celle qui est comprise entre les deux failles F et L celle que M. Gosselet appelle le *lambeau de poussée*. Elle montre des terrains variables, mais toujours renversés; ils ne sont pas parallèles à la faille du Midi, mais d'après les figures et les explications de M. Gosselet, il est permis de penser que l'angle qu'ils forment avec elle est l'angle de discordance du terrain dévonien avec le terrain silurien, ou mieux que, si un lambeau de Silurien entraîné se trouvait quelque part au-dessous de la faille, il lui serait également parallèle.

Elle ne diffère pas, au point de vue cinématique, de l'explication par un pli couché.

Au fond, l'explication de M. Gosselet ne diffère pas, au point de vue cinématique, de celle que fournirait le rapprochement avec un pli couché. Elle distingue seulement *deux temps* dans les mouvements, le plissement primitif, puis le charriage, et voit dans le second un phénomène indépendant, au lieu d'y voir la suite et la continuation du premier. Dans la première phase, on parle de plis; dans la seconde, on ne parle plus que de failles; ce n'est, au fond, qu'une

différence de langage, puisque ces sortes de failles pourront toujours être considérées comme n'étant que l'exagération des plis; mais cette différence de langage a suffi pour masquer pendant longtemps et faire méconnaître l'analogie de structure du bassin houiller franco-belge avec le seul exemple de pli couché alors bien connu, celui des Alpes de Glaris.

Il n'est pas besoin, après tout ce que j'ai dit, de longues explications pour reconnaître : dans les masses charriées qui sont au-dessus de la faille du Midi, le flanc normal d'un pli anticlinal; dans la bande comprise entre la faille du Midi et la faille-limite, le flanc renversé du même pli; et enfin, dans le bassin houiller lui-même, le pli synclinal sur lequel ce pli anticlinal est renversé.

Cette coupe ne donne que l'amorce des déplacements réellement produits.

Mais là ne se bornent pas, dans le bassin, les phénomènes de charriage et de recouvrement; le glissement le long de la faille du Midi, qui a passé longtemps pour le fait le plus extraordinaire de la stratigraphie européenne, n'est que l'annonce des grands déplacements horizontaux qui se sont produits dans la région. C'est ce que prouvent les îlots, ou, suivant l'expression de M. Gosselet, les paquets de terrains plus anciens, isolés au milieu du bassin houiller, et qui, sans les travaux de mines, seraient restés toujours ignorés, masqués qu'ils sont par la couverture de sables et de marnes que les mers crétacées et tertiaires ont laissée à la surface du sol.

Ilôts de terrains anciens au milieu du bassin houiller.

Ilot du Boussu.

Le plus connu de ces lambeaux est celui du Boussu; une galerie est passée au-dessous sans sortir du terrain houiller; la superposition ne peut donc faire

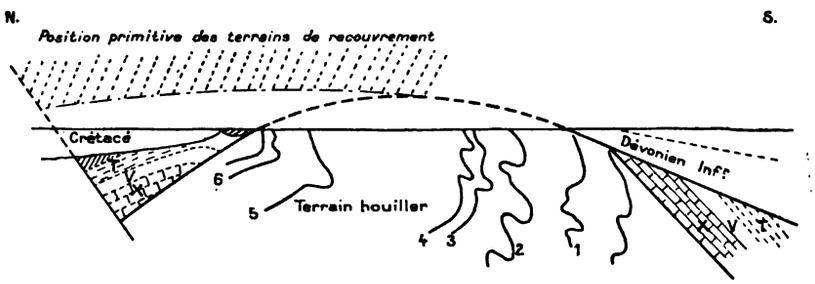


Fig. 116. — Coupe théorique de la partie sud du bassin houiller de Mons (Paquet du Boussu) (*B. S. G. F.*, 3e série, t. XV, 1886-87, p. 701).

T. Frasnien; V. Famennien: X. Calcaire carbonifère; 1, 2, 3, 4, 5, 6. Couches de houille.

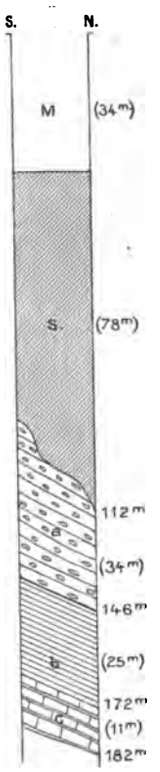
de doute. MM. Cornet et Briart (1) ont cherché ingénieusement à expliquer la position de ce « paquet » par une série de mouvements successifs et indépendants; mais les failles qu'ils supposent n'ont pas été reconnues ultérieurement dans les travaux, et de plus, comme l'a objecté M. Gosselet, en présence de cette théorie, si l'imagination s'étonne, c'est moins de la grandeur des mouve-

(1) *Sur le relief du sol en Belgique après les temps paléozoïques* (*Annales Soc. géol. de Belgique*, Liége, t. IV, 1877, p. 71-115, pl. VI-XI).

ments, que de la précision qui a dû présider à leur coordination pour produire les résultats observés (¹).

La seule explication admissible et compatible avec les données de l'observation est l'enfoncement, l'enfouissement par un affaissement postérieur, d'une partie de la masse de recouvrement (*fig.* 116). C'est ce que montrent les pointillés de la figure, qui devient en quelque sorte une reproduction de la coupe du Beausset, compliquée par un tassement local et postérieur.

La disposition des couches dans ce paquet a pu, la première fois qu'on l'a constatée, à la bure du Saint-Homme (*fig.* 117), sembler un défi jeté à toute vraisemblance : les couches, peu inclinées, y sont renversées ; le Dévonien repose sur le Carbonifère, et sur le Dévonien repose le Silurien discordant, incliné de 55°. Cette disposition s'explique très bien, si c'est un morceau du flanc renversé du grand pli qui s'est trouvé ainsi conservé ; l'épaisseur et le développement des terrains conservés est beaucoup plus considérable que ce n'est le cas ordinaire dans le lambeau de poussée ; de là, on peut tirer cette conséquence intéressante, conforme à ce que j'ai déjà indiqué, que les termes renversés tendent à reparaître et à reprendre leur puissance normale, quand on s'approche de la charnière anticlinale.



M. Terrains crétacés et tertiaires ;
S. Schistes siluriens ;
a. Poudingue ;
b. Schistes et calcaires fossilifères ;
d. Calcaires gris avec schistes.

Fig. 117. — Coupe de la bure du Saint-Homme à Thulin, d'après M. Gosselet (*L'Ardenne*, p. 742, fig. 195).

Le second lambeau, dont M. Gosselet vient récemment de faire connaître l'existence, est encore plus intéressant à ce point de vue. Il est situé à l'ouest de Charleroi, entre Fontaine-l'Évêque et Landlies ; j'en reproduis la coupe d'après M. Gosselet, en rappelant que certains détails en sont encore hypothétiques (*fig.* 118) ; je croirais plus vraisemblable, d'après les données citées, l'existence à Landlies d'une véritable faille, qui aurait fait descendre ce lambeau, et qui abaisserait aussi plus profondément les terrains houillers (*fig.* 119). Cette seconde figure fait, en tout cas, mieux saisir l'interprétation de la partie nord, qui semble, elle, la plus certaine, et qui est aussi la plus instructive.

Ilot de Landlies.

Le Houiller inférieur, très froissé, y supporte le Calcaire carbonifère, qui tend

(¹) *L'Ardenne* (*Mémoires pour servir à l'explication de la Carte géologique détaillée de la France*). In-4°, 1889, p. 746.

Amorce de la charnière anticlinale du pli.

à prendre une position verticale. On aurait là, avec froissements secondaires, et avec *puissance normale* des couches, la base de la charnière anticlinale du pli couché. Ce serait même, de tous les exemples que je connais, celui où cette partie, presque toujours hypothétique, du recourbement des couches à l'extrémité du pli couché serait le plus complètement conservée.

La réapparition des couches supprimées et l'amorce d'une charnière anticlinale montrent que ces déplacements horizontaux sont bien le résultat d'un pli couché.

« Cette disposition, dit M. Gosselet, de cuvettes plates à la surface du terrain houiller, est un des faits stratigraphiques les plus remarquables que l'étude comparée des sondages nous ait révélés. Il n'est peut-être pas sans analogie avec la structure des plis déversés signalés en Provence.... Ces sortes de bassins ne peuvent s'expliquer que par une lente descente d'un lambeau primitivement poussé par faille au-dessus de ces roches (1). » J'ajoute que, de plus, l'étude

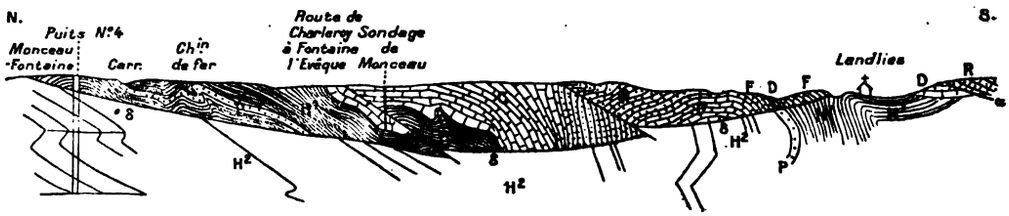


Fig. 118. — Coupe de Fontaine-L'Évêque à Landlies, d'après Briart (*in* Gosselet, *L'Ardenne*, p. 748).

R. Grès et schistes du Coblentzien; C. Calcaire carbonifère; H². Houiller moyen;
D. Calcaire frasnien; H. Houiller inférieur; α. Grande faille;
F. Psammites famenniens; P. Poudingue d'Andenne; δ. Faille horizontale.

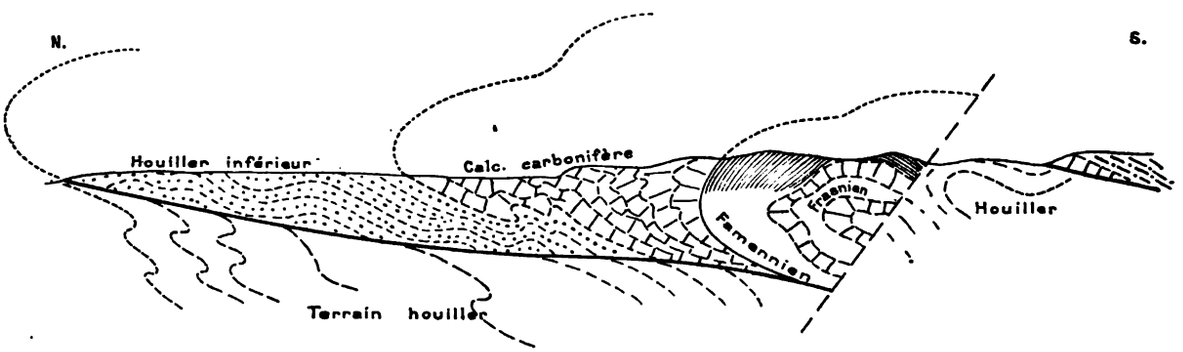


Fig. 119. — Interprétation de la coupe de Landlies.

de ces lambeaux montre que la « faille » tend à diminuer d'amplitude à mesure qu'on la reconnaît plus au nord, et qu'elle est remplacée par le contact presque normal du terrain houiller et des termes les plus récents de la série complète

(1) *L'Ardenne*, p. 749.

renversée; en même temps, la charnière anticlinale elle-même commence à apparaître; si bien que le phénomène du plissement, plus ou moins dissimulé au sud, se montre là avec certitude comme la cause première et unique de toutes ces anomalies. Il n'y aurait pas eu plissement, puis faille et glissement, mais plissement avec étirement du flanc renversé et *déroulement* du pli. Le déroulement, dans ces exemples, et par conséquent le cheminement horizontal, dépasse cinq kilomètres.

Le pli couché se continue au delà de Liége, le long du massif de Stavelot.

La grande étendue en direction de ce pli couché et des phénomènes qui l'accompagnent a été justement remarquée, mais elle est plus grande encore qu'on ne l'a jusqu'ici admis; auprès de Liége, la grande faille du Midi, rejetée d'abord par une série de décrochements transversaux, semble se terminer. « Il est très possible, dit M. Gosselet, que des failles secondaires, des cassures contemporaines se soient produites dans son prolongement au milieu du terrain houiller du bassin d'Aix-la-Chapelle; mais, si importantes qu'elles soient pour l'exploitation, elles n'ont plus le même intérêt géologique (1). » C'est là la conclusion à laquelle on arrive si l'on prête aux failles un rôle prépondérant; si l'on considère au contraire le pli couché comme le phénomène géologique principal, on peut retrouver les preuves de sa continuation jusqu'à 50^{km} plus à l'est, tout le long du massif cambrien de Stavelot et de Spa.

Bassin de Theux.

Sur le bord de cet îlot, la série des terrains dévoniens, montrant seulement près du massif ancien quelques indices de renversement, se succède régulièrement, avec tous ses termes régulièrement superposés jusqu'aux affleurements houillers du bassin de Herve. Le petit bassin de Theux fait seul exception à cette règle; M. Gosselet a montré que c'était un lambeau affaissé, et qu'il fallait le

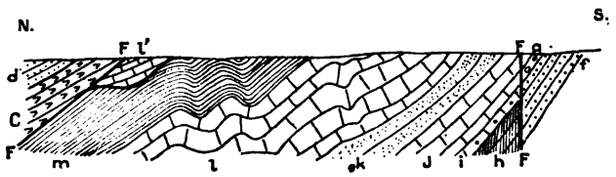


Fig. 120. — Coupe du bassin de Theux, d'après M. Gosselet (*L'Ardenne*, p. 728).

C. Gédinnien; *d.* Taunusien; *f.* Ahrien; *g.* Schistes et Poudingues de Burnot
h. Grauwacke de Rouillon; *i.* Givétien; *j.* Frasnien; *k.* Famennien
l. Calcaire carbonifère; *m.* Terrain houiller; *l'.* Calcaire carbonifère (lambeau de poussée); FF. Failles.

considérer comme isolé par une série de failles verticales (ou peut-être une seule faille courbe) au milieu des couches dévoniennes (2). Ce bassin de Theux nous apprend donc quelle était, au moins en ce point, la succession des assises au-

(1) *L'Ardenne*, p. 752.
(2) Même Ouvrage, p. 728-729.

dessus des affleurements actuels, avant la dénudation. Or, dans ce petit bassin (*fig.* 120), on voit le Houiller plonger sous le Carbonifère ; Dumont et M. Dewalque ont même indiqué la coupe un peu différemment et figuré le Houiller plongeant, au sud aussi bien qu'au nord, sous le Carbonifère. En tout cas, nous avons là la preuve que le Carbonifère a été amené par-dessus le Houiller, c'est-à-dire qu'un grand pli couché a existé au-dessus des affleurements actuels. Par suite du décrochement transversal de Liége, ce pli ne serait pas autre chose que celui de Mons, du Boussu et de Landlies.

Bassin de Stolberg.

De même, à la pointe est du massif, le bassin houiller de Stolberg (1) se montre d'abord, près de Vicht, occuper le fond d'une cuvette synclinale légèrement dissymétrique, mais sans renversement (*fig.* 121). Un peu plus loin, la ligne de

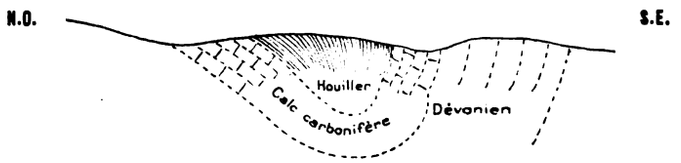


FIG. 121. — Coupe du bassin houiller de Stolberg (partie sud-ouest), d'après W. Schiffmann.

Échelle = 1 : 12 000 environ.

contact du Carbonifère et du Houiller décrit la ligne sinueuse indiquée sur le croquis ci-joint (*fig.* 122) ; dans toute cette partie, des puits ont été creusés pour la recherche et l'exploitation des filons plombifères et, sous le promontoire

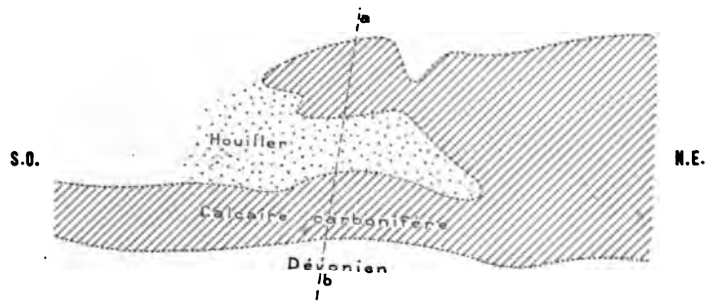


FIG. 122. — Croquis géologique du bassin houiller de Stolberg (Prusse Rhénane), d'après W. Schiffmann.

Échelle = 1 : 12 000 environ.

de Calcaire carbonifère, ils ont partout trouvé le terrain houiller. On a donc là (*fig.* 123) l'amorce d'un pli couché qui, bordant également le massif de Sta-

(1) W. SCHIFFMANN, *Die geologischen Verhältnisse der Grube Diepenlinchen bei Stolberg, Rheinland* (*Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen*, Bd. XXXVI, 1888, p. 1-22, Atlas, pl. I-IV).

velot, est le même que le précédent, et dont rien ne peut plus nous indiquer l'amplitude primitive.

Le massif cambrien de Stavelot joue dans l'Ardenne le même rôle que celui du Mont-Blanc dans les Alpes.

Cette continuation du pli couché tout le long du massif de Stavelot est très intéressante, au point de vue de la comparaison des Ardennes et des Alpes, parce qu'elle montre que ce massif cambrien joue dans les Ardennes le même

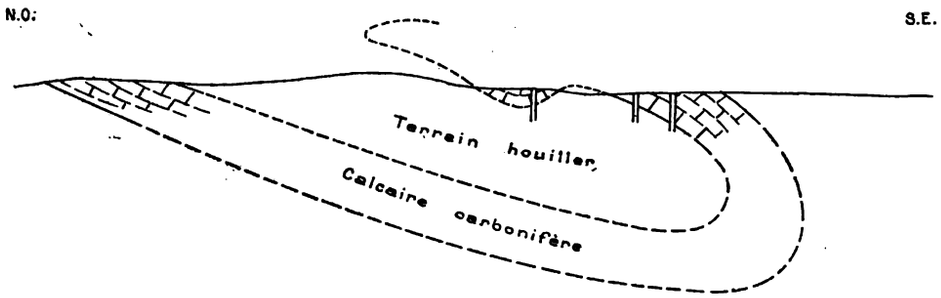


Fig. 123. — Coupe du bassin houiller de Stolberg (partie nord-est), d'après W. Schiffmann.

Échelle = 1 : 12 000 environ.

rôle que les massifs du Mont-Blanc et des Alpes Bernoises dans la chaîne alpine.

Continuation vers l'ouest du pli couché.

Quant à la continuation vers l'ouest du même pli, on la retrouve sans aucun doute dans les accidents du Boulonnais. Il est vrai que dans l'intervalle, la manière dont se termine dans le Pas-de-Calais le bassin d'Anzin, à Fléchinelle, pourrait sembler une objection. Toujours est-il que là il n'y a plus trace de pli couché, non plus que de faille, et la cuvette houillère se présente sous forme de cuvette étroite, à bords presque verticaux, au milieu du Calcaire carbonifère. Le pli couché a-t-il fait place, là, à un pli droit? Les phénomènes de renversement et de recouvrement cessent-ils momentanément pour reprendre plus loin? Cela est possible, mais il est plus probable, selon moi, que c'est là encore une apparence due à la dénudation, et que le fond de la cuvette verticale, qui seul nous a été conservé, s'allongeait horizontalement du côté du nord, de la même manière que nous venons de le voir pour le bassin de Stolberg (*fig.* 123).

Cuvette verticale à Fléchinelle.

Accidents du Boulonnais.

La coupe d'Hardinghen, dans le Boulonnais, présente presque le maximum de complication possible, parce qu'elle montre des lambeaux de la cuvette synclinale disjoints et dénivelés par des failles verticales, qui en ont, de plus, dans le mouvement d'affaissement, modifié l'inclinaison primitive. Le bassin du Boulonnais, au moins le lambeau d'Hardinghen, serait comme le bassin de Theux, une partie enfouie au milieu des assises dévoniennes. « La Grande-Faille [faille du Midi], dit M. Gosselet, n'est pas encore connue à l'extrémité occidentale du bassin houiller, dans le Boulonnais (1). » Ou plutôt, il est impossible de l'y

(1) *L'Ardenne*, p. 753.

distinguer avec certitude des accidents secondaires; mais le pli couché, qui est la véritable *unité*, s'y retrouve bien nettement. Il ne s'arrêtait pas là.

Le bassin houiller se continue sous les terrains secondaires du Sud de l'Angleterre.

Plus à l'ouest, en effet, tout affleurement du terrain houiller disparaît jusqu'au Somerset; mais le raccordement souterrain des bassins anglais avec le bassin franco-belge est plus qu'une probabilité. Les terrains crétacés et tertiaires (bassins de Paris et de Londres), qui masquent ce raccordement, se montrent en effet accidentés par une série d'ondulations, *dont la direction est parallèle aux plis plus marqués du substratum paléozoïque;* ces ondulations sont à l'ouest parallèles aux plis de la Bretagne, et à l'est à ceux de l'Ardenne. L'axe de l'Artois marque l'emplacement du pli carbonifère. Or cet axe anticlinal se continue, par le bombement du Weald, dans la direction des Mendip Hills, qui dominent au sud le bassin du Somerset; il y a là une preuve indirecte, signalée depuis longtemps, sinon de la continuité des bassins, en temps que bassins productifs, au moins de la continuité de la cuvette synclinale qui les englobe.

Bassin du Somerset; îlots de Calcaire carbonifère.

Les bassins du Somerset et du Pays de Galles montrent une succession qui, en dehors des froissements et des failles de tassement, semble tout à fait régulière. Au sud des terrains houillers du Somerset se dresse, comme je viens de le dire, la chaîne des Mendip Hills, dessinant une voûte, dont le centre est formé de Vieux grès rouge, et dont les retombées sont formées de Calcaire carbonifère. Le Calcaire carbonifère sur les bords du bassin est vertical, mais nulle part il n'y a trace de renversement. Or, au milieu du terrain houiller, à plus de 1^{km} de l'affleurement de la bande qui borde le bassin, se trouvent trois îlots de Calcaire carbonifère, connus déjà par De la Bèche, mais qu'on avait toujours crus relevés par des failles et par conséquent se prolongeant en profondeur. C'est ainsi encore qu'ils sont figurés sur la carte géologique de la région. Mais le réseau de ces failles multiples était une pure hypothèse, et quand l'exploitation est arrivée au droit de ces îlots, au lieu de s'y heurter, elle a suivi les couches sans interruption sous le Calcaire carbonifère. Les îlots sont des îlots de recouvrement, et la coupe de Stolberg (*fig.* 123) donnerait une idée exacte des conditions de leur gisement (1).

Bassins houillers du Sud de l'Irlande.

Dans l'île de Steepholm, qui, à l'entrée du Canal de Bristol, est formée par la prolongation des terrains des Mendip Hills, les couches très inclinées sont légèrement renversées vers le sud; et dans le bassin houiller du Sud de l'Irlande, suite et terminaison de notre bande houillère, les couches de charbon, souvent étirées et laminées, sont affectées de replis et de *crochons,* comparables à ceux du bassin belge.

Résumé. Le grand pli couché de la chaîne houillère se poursuit sur 800^{km} de longueur.

Ainsi, c'est sur 800 kilomètres de longueur au moins, depuis l'Ouest de l'Angleterre jusqu'au Rhin, que nous retrouvons la trace d'un grand pli couché, qui n'a peut-être pas produit des déplacements horizontaux aussi considérables que

(1) *Bull. Soc. géol. de Fr.,* 3e série, t. XVI, 1887-88, p. 435.

le grand pli alpin, mais qui a pourtant amené des recouvrements de plus de 6^{km} de largeur. La chaîne houillère, comme les Alpes, s'est renversée et déversée sur sa bordure septentrionale; le mécanisme du phénomène, quoiqu'on les ait décrits avec des mots différents, a été le même dans les deux cas, et l'on peut dire du pli de Hainaut, comme de celui des Alpes, qu'il constitue le trait le plus saillant de la chaîne dont il fait partie.

2° Plis couchés de la chaîne silurienne (chaîne calédonienne).

Dans le Nord de l'Écosse, les gneiss ont été amenés à chevaucher sur le Silurien.

Tout le Nord de l'Écosse est formé par du Silurien et des gneiss fortement plissés, au pied desquels s'étendent des bassins remplis par les couches discordantes et peu tourmentées du Dévonien et du Carbonifère (bassin d'Edimbourg, bassin des Orcades). Au point de vue de l'âge, aussi bien qu'à celui de la position géographique, ces plissements sont donc indépendants de ceux que nous venons de décrire. C'est dans les monts Grampians, et surtout dans la partie occidentale, le long de la côte, qu'ils atteignent leur plus grand développement et qu'ils ont produit les déplacements les plus importants. Les phénomènes de recouvrement se poursuivent, depuis le Nord de l'Écosse, jusqu'à l'Irlande, c'est-à-dire sur plus de 400^{km} de longueur.

Là, ce sont les gneiss qui ont été amenés par refoulement à chevaucher sur le Silurien, comme le Dévonien sur le Houiller de la Belgique, comme le Trias sur le Crétacé de la Provence. La superposition des gneiss au Silurien est connue depuis longtemps; mais au lieu d'y voir le résultat d'une action mécanique, Murchison avait supposé que les gneiss étaient eux-mêmes siluriens et provenaient du métamorphisme de terrains sédimentaires. Cette opinion, longtemps admise, a été d'abord ébranlée par les travaux de M. Lapworth (1); elle ne peut plus être soutenue aujourd'hui : après de longues discussions, les derniers partisans des idées de Murchison ont dû se rendre à l'évidence des faits recueillis par les géologues du Survey.

Coupe schématique des plis de la côte nord-ouest.

La coupe ci-jointe (*fig.* 124) rend compte schématiquement de l'allure des couches. Avant d'entrer dans quelques détails, je citerai les termes mêmes dans lesquels le directeur du Survey, M. A. Geikie, la résumait il y a cinq ans : « Un système de failles inverses (*reversed faults*) a amené tout un groupe de couches en recouvrement au-dessus des membres les plus élevés de la même série. Les dislocations les plus extraordinaires sont celles des plans de poussée (*thrust-*

(1) *The Secret of the Highlands* (*Geol. Magazine*, Dec. 2, t. X, 1883, p. 120, 193 et 337, pl. V et VIII); *On the Close of the Highland Controversy* (*Ibid.*, Dec. 3, t. II, 1885, p. 97-106).

planes); l'inclinaison en est si faible que les terrains ont été poussés comme horizontalement à leur surface, dans la direction de l'ouest, parfois à une distance qui atteint dix milles [*seize kilomètres*]. Même dans les coupes les plus nettes, ces plans de poussée peuvent difficilement se distinguer des plans ordinaires de stratification, et ils ont subi les mêmes actions, c'est-à-dire qu'ils ont été plissés, faillés et dénudés. En plusieurs points, on trouve des témoins de gneiss archéen,

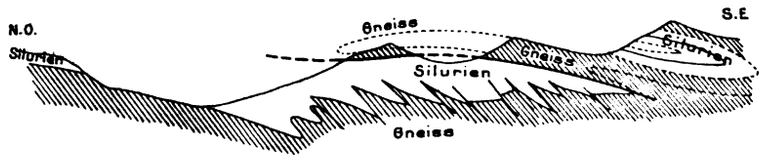


FIG. 124. — Schéma de la structure des montagnes de l'Écosse (*B. S. G. F.*, 3e série, t. XV, p. 701).

ainsi charriés horizontalement, et recouvrant une colline de quartzite et de calcaire siluriens, comme le ferait une formation régulièrement superposée (1) ».

Depuis ce moment, en 1888, M. Geikie a publié avec plus de détails quelques-unes des coupes relevées par le Survey (2). Elles sont extraordinaires, non seulement par l'importance des déplacements horizontaux, mais aussi par le détail des phénomènes secondaires qui les accompagnent. Il semble presque qu'il y ait là un type nouveau, qu'on hésite à rapprocher complètement des plis couchés, et qui certainement réalise le maximum de complication observé jusqu'ici dans les mouvements de l'écorce terrestre. Une discussion complète est encore difficile, d'abord parce que les coupes isolées ne sont pas réunies par une carte géologique, et ensuite parce que quelques-unes d'entre elles au moins paraissent un peu schématisées et qu'on ne sait quelle part y a été laissée à l'interprétation.

Données stratigraphiques : succession des couches.

Autant que je crois pouvoir les reconstituer par l'étude du Mémoire de M. Geikie, voici quelles sont les données principales : la côte ouest est formée par des gneiss (gneiss anciens), fortement plissés et dénudés avant les dépôts siluriens. Au-dessus, et en discordance, reposent les couches cambriennes (grès, conglomérats et schistes), généralement peu inclinées, avec une épaisseur qui varie de 0^m à 2500^m; ces variations d'épaisseur montrent que les couches ont été également dénudées avant le dépôt du Silurien.

Le Silurien, qui leur succède, repose sur le Cambrien ou sur les gneiss en

---

(1) A. GEIKIE, *The Crystalline Rocks of the Scottish Highlands* (*Nature*, London, t. XXXI, 1884, p. 29-31). — Voir aussi B. N. PEACH and J. HORNE, *Report on the Geology of the North-West of Sutherland* (*Ibid.*, p. 31-35).

(2) *Report on the Recent Work of the Geological Survey in the North-West Highlands of Scotland* (*Quart. Journ. Geol. Soc.*, London, t. XLIV, 1888, p. 378-441).

couches généralement peu inclinées, du moins à l'ouest; ses affleurements occupent une bande plus ou moins large, parallèle à la côte. Dans cette bande, la puissance de ses bancs paraît tantôt très réduite, tantôt énorme; mais en réalité la composition en est toujours la même, et la seconde apparence n'est due qu'à des empilements des couches par des failles répétées. L'épaisseur vraie du Silurien n'atteint nulle part 400^{m}, comme on a pu le reconnaître en suivant avec soin un certain nombre de niveaux fossilifères, dont les caractères lithologiques sont bien marqués. Il comprend :

1° Les quartzites de base, sans fossiles (100^{m});
2° Des quartzites plus fins, à trous de Vers (*pipe rock*, 100^{m});
3° Des schistes et grès à Fucoïdes et Serpules (25^{m});
4° Des calcaires à Orthocères et *Archæocyathus* (100^{m} à 150^{m}).

Les quartzites semblent correspondre aux grès de Potsdam (sommet de la faune primordiale); les schistes à fucoïdes et les calcaires, à la faune seconde.

A l'est de la bande d'affleurements siluriens, souvent interrompue par des affleurements plus anciens, et où nous allons étudier les traces des grandes dislocations, s'étend une large bande, formée de micaschistes et de gneiss, portant des traces de métamorphisme mécanique, et certainement plus récents que les gneiss de la côte; ce sont ceux dont la superposition au Silurien a été depuis longtemps reconnue, et c'est contre eux que vient buter à l'est le Dévonien discordant.

Grandes surfaces de glissement qui ont entassé les unes sur les autres plusieurs tranches successives et indépendantes.

En examinant maintenant les coupes de la région, on y trouve la trace de grandes surfaces de glissement, qui ont amené les gneiss anciens en superposition sur le Silurien. M. Geikie en cite trois comme principalement importantes : le plan de poussée (*thrust-plane*) ou surface de Glencoul, la surface du Ben More, et celle de Moine; elles se succèdent dans cet ordre, de l'ouest à l'est; et la dernière est celle le long de laquelle ont été charriés les micaschistes et gneiss récents de l'Est; tous les mouvements se sont faits de l'est vers l'ouest.

Une complication remarquable résulte de ce que ces surfaces ne sont pas parallèles et peuvent s'avancer les unes au-dessus des autres, si bien que la chaîne, assimilée à un édifice, semble se composer de plusieurs *étages* successifs : le premier, le *rez-de-chaussée,* formé par les couches en position normale; le second, amené de l'est sur le plan incliné de Glencoul; un troisième, amené de même sur le plan incliné du Ben More; et enfin un quatrième, amené en superposition sur tous les autres par le traînage des micaschistes sur le plan incliné de Moine, le plus long et le moins incliné de tous.

Cette disposition, qui aurait pour résultat de faire reparaître quatre fois sur une même verticale la succession des gneiss et du Silurien, pourrait s'expliquer par l'existence de trois grands plis couchés, se succédant comme ceux de la Pro-

vence, mais beaucoup plus rapprochés, de manière à empiéter les uns au-dessus des autres. Le détail des coupes ne semble pas répondre à cette conception.

Terminaison de quelques-unes de ces tranches en biseau vers l'ouest.

D'abord les surfaces de glissement supérieures, moins inclinées que les autres, arriveraient vers l'ouest à les rejoindre, à les couper et à les interrompre, de manière que les différents étages, au moins localement, se termineraient en

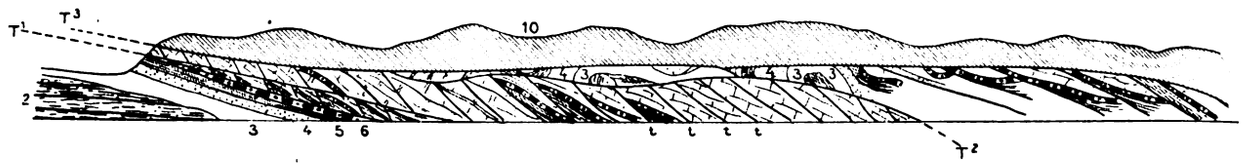


FIG. 125. — Coupe des Cromalt Hills, d'après Sir Archibald Geikie (Mém. cité, p. 427, fig. 20).

LÉGENDE COMMUNE AUX FIGURES 125, 126 ET 127 :

1. Gneiss;
2. Cambrien;
3. Quartzite;
4. Pipe rock;
5. Couches à Fucoïdes;
6. Grès à Serpules;
7. Calcaires;
8. Gneiss laminés;
10. Schistes cristallins en recouvrement;
t, t. Failles;
T. Plans de poussée;
T1. Plan de poussée de Glencoul;
T2. Plan de poussée du Ben More;
T3. Plan de poussée de Moine.

Échelle = 1 : 60 000 environ.

biseau de ce côté, les micaschistes de Moine recouvrant d'abord les couches charriées sur la surface du Ben More, puis sur celle de Glencoul, puis enfin les couches siluriennes en place (*fig.* 125).

Coupe compliquée de chacune des tranches. La plupart sont formées de terrains faillés.

En second lieu, si l'on considère l'une des surfaces de glissement prise isolément (*fig.* 126), et si l'on examine au-dessous des gneiss les terrains siluriens recouverts, on voit que nulle part ces terrains ne sont renversés, que nulle part

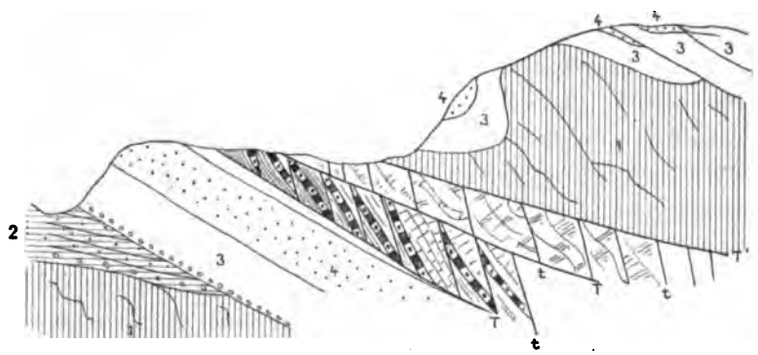


FIG. 126. — Coupe schématique montrant la disposition des plans de poussée dans les Highlands, d'après Sir Archibald Geikie (Mém. cité, p. 413, fig. 8).

Voir la légende de la figure précédente.

même il n'y a de termes renversés au contact du *thrust-plane;* mais, au lieu de couches horizontales, comme au Beausset, au lieu de couches plissées, comme à Glaris, ce sont des couches hachées par une série de petites failles inverses,

qui font reparaître indéfiniment les mêmes terrains, malgré une inclinaison constante vers l'est. Ainsi, d'après une des coupes, les grès à Serpules reparaissent treize fois sur une longueur de 5oo^{m}. Mais de plus ces couches hachées sont divisées en grandes tranches par des surfaces de glissement à peu près parallèles à la surface principale (*maximum thrust-plane*). Sur une même coupe, on voit sept de ces tranches successives; les failles secondaires qui hachent chacune de ces tranches, s'arrêtent toutes brusquement aux surfaces qui les limitent.

Quelques-unes sont formées de terrains plissés.

D'après les coupes données, cette structure paraît générale; il y a pourtant une exception à signaler, sous le plan de poussée le plus oriental, celui de Moine, qui a ramené les micaschistes au-dessus de tous ces accidents (*fig.* 125). C'est sur le flanc des Cromalt Hills; là, les micaschistes reposent sur une série réellement plissée, qui laisse apparaître deux noyaux anticlinaux, formés par les gneiss anciens. Mais cette série plissée est brusquement arrêtée en bas par une nouvelle surface de glissement, sur laquelle elle repose, et qui va se réunir vers l'ouest à la surface principale. Plus bas recommence le système des tranches hachées qui vont, elles aussi, se terminer en biseau vers l'ouest. C'est là un des exemples les plus nets où l'on voie le dernier terme de la série de recouvrement, les micaschistes, reposer transgressivement, et comme en discordance, sur tous les plissements et toutes les failles antérieures.

En résumé, si l'on dégage cet exposé de la petite complication qu'introduit une distinction entre les surfaces de glissement plus ou moins importantes, on peut dire que toute la région orientale a été poussée sur celle des affleurements siluriens actuels, mais qu'elle n'y a pas été poussée tout d'une pièce : la masse mise en mouvement s'est divisée en tranches successives, limitées par des plans très légèrement obliques à l'horizon, et ces tranches, avançant inégalement dans le déplacement général, ont glissé et chevauché les unes sur les autres. C'est un phénomène tout à fait analogue à celui qui produit l'étirement des couches et les suppressions d'étages en Provence; seulement, ici, les surfaces de stratification sont remplacées par des surfaces de *fausse stratification*, c'est-à-dire par une série de surfaces parallèles, produites mécaniquement, et obliques sur les couches. Tandis que dans le premier cas, la plupart des glissements partiels restent inaperçus, dans le second, évidemment, tous les déplacements relatifs se voient et se traduisent par des chevauchements nettement apparents. La production ou la préexistence de ces joints parallèles sera plus ou moins facile à expliquer, on sera plus ou moins embarrassé pour en préciser la cause, mais le fait en lui-même se conçoit sans invraisemblance.

Comparaison avec la Provence; les glissements suivant les surfaces de stratification sont remplacés par des glissements suivant des surfaces de clivage.

Il reste maintenant à interpréter le rôle et l'origine des petites failles qui hachent chacune des tranches; elles sont trop rapprochées de la verticale pour pouvoir dériver du mouvement même de glissement, et comme elles sont arrêtées brusquement par les plans de poussée, il faut qu'elles lui soient anté-

Les petites failles qui hachent chacune des tranches sont des plis-failles, correspondant aux flancs renversés d'une série de

plis renversés vers l'ouest.

rieures. Autrement dit, la région qui a été découpée suivant cette série de joints, et déplacée inégalement vers l'ouest, était une région déjà *plissée et faillée*. Si, en effet, les failles paraissent jouer le rôle principal, la figure 125 montre qu'il y a également des parties plissées, au moins au-dessous des micaschistes, et la manière dont ces plissements sont rasés par le haut et par le

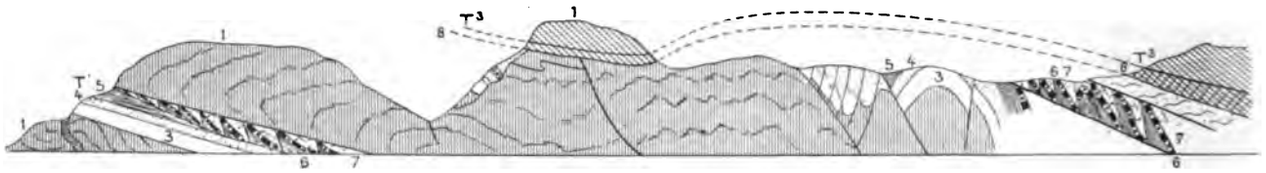


Fig. 127. — Coupe de Glendhu, d'après Sir Archibald Geikie (Mém. cité, p. 417, fig. 12).

Voir la légende de la figure 125.

Échelle = 1 : 60 000 environ.

bas, empêche absolument, quoique on l'ait proposé, de les expliquer par la résistance du plancher fixe sur lequel la poussée latérale remontait les masses de recouvrement. De plus, le fait que toutes les petites failles sont des *failles inverses*, c'est-à-dire des failles le long desquelles les terrains ont été remontés, et non pas affaissés, les rapproche des failles de glissement, des plis-failles; la structure de chaque tranche rappelle ainsi une structure qui se rencontre dans plusieurs pays de montagnes, notamment dans le Jura Bâlois : c'est la structure dite « écailleuse » (*Schuppenstructur*), où, dans une série de plis inclinés dans le même sens, les flancs renversés de chacun des plis ont disparu par étirement (*fig.* 128). La coupe du Jura Bâlois montre clairement comment cette structure peut dériver directement du phénomène de plissement, et elle nous donne une

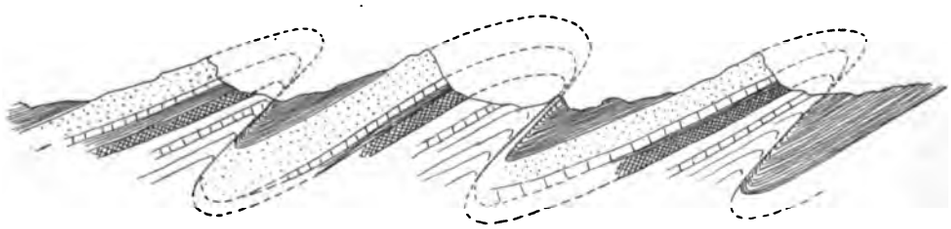


Fig. 128. — Structure imbriquée ou écailleuse (*Schuppenstructur*), d'après Alb. Heim et Emm. de Margerie (*Les dislocations de l'écorce terrestre*, Zürich, 1888, p. 82).

idée de ce que pouvait être la coupe de cette partie des Highlands, avant la production des déplacements horizontaux.

Nécessité de distinguer deux phases successives dans les mouvements.

Nous sommes donc amenés, par l'analyse des faits observés, à reconstruire ainsi qu'il suit l'histoire de ses dislocations : sous l'effort d'une compression latérale, dirigée est-ouest, les couches se sont d'abord plissées; puis des brisures

se sont produites, sous forme de joints parallèles et presque horizontaux, dans une direction voisine de celle des forces agissantes, et alors, toujours sous la même action, les différentes tranches successives, glissant sur cette série de plans inclinés, ont été refoulées et charriées du côté de l'ouest, en chevauchant les unes sur les autres par suite du déplacement inégal. Or, on voit que cette explication, sauf la multiplicité des surfaces de glissement, est *presque identiquement celle que M. Gosselet a proposée pour le bassin houiller du Nord.* Tout en la déclarant admissible, je me suis efforcé de montrer, par suite des ressemblances avec la Provence et les Alpes, que la décomposition en deux phases de mouvements indépendantes n'était ni nécessaire, ni probable. Mais pour les Highlands, la décomposition s'impose comme une réalité, et l'on ne peut s'empêcher d'être frappé de cet échelonnement des phénomènes, ou au moins des explications, à mesure qu'il s'agit de chaînes plus anciennes : dans les chaînes alpines ou tertiaires, le déplacement horizontal se fait par pli, puis par allongement et déroulement du pli; sauf quand la dénudation a été trop profonde, les plissements frappent les yeux, dominent les autres accidents, et ont été dès le début la seule explication invoquée. Dans la chaîne hercynienne ou carbonifère, les plissements bien dessinés jouent encore un rôle prédominant, mais là où la trace de grands déplacements horizontaux nous a été conservée, l'existence de deux surfaces de glissement nettement tranchées a pu faire attribuer aux failles un rôle indépendant et a fait considérer longtemps le *charriage* de masses importantes, non comme une conséquence directe et une exagération du plissement, mais comme un phénomène spécial et postérieur. Nous avons été amenés à conclure que cette explication était plutôt contredite par le rapprochement de détail avec les chaînes tertiaires; mais le fait seul qu'elle ait été proposée et admise témoigne d'une certaine différence d'allures. Enfin, dans la chaîne la plus ancienne, celle qui date de la période silurienne, les plissements, toujours bien constatés pour l'ensemble de la chaîne, disparaissent, en quelque sorte, dans la zone des recouvrements; les surfaces de glissement se multiplient, et leur multiplicité crée une physionomie nouvelle, qui semble rendre tout rapprochement impossible. De plus, l'analyse des coupes démontre qu'il y a bien certainement des mouvements de charriage indépendants du plissement primitif.

Échelonnement des phénomènes, ou au moins des explications, à mesure qu'il s'agit de chaînes plus anciennes.

Avant de discuter sommairement la cause possible de ces différences, il importe d'essayer de se rendre compte de la production de cette série de joints horizontaux et presque parallèles, auxquels nous attribuons l'origine des surfaces de glissement. L'existence des joints (diaclases) dans les roches est trop générale pour que leur fréquence dans l'exemple actuel soit un sujet d'étonnement; on sait que dans des cas nombreux, cette fréquence est assez grande pour produire le clivage dans des massifs entiers. Mais, en général, ces joints, de clivage ou autres, se forment normalement à la direction des pressions,

Explication de la production d'un clivage horizontal.

et leur horizontalité peut paraître contradictoire avec les conditions du problème. Il faut seulement se souvenir que ces joints peuvent, d'après les expériences de M. Daubrée, se produire de deux manières : ou *statiquement,* et alors ils sont perpendiculaires à la pression; ou *cinématiquement,* quand il y a mouvement ou écoulement, et alors ils sont parallèles à la direction de l'écoulement. Il suffit donc que, dans les Highlands, lors du plissement primitif des

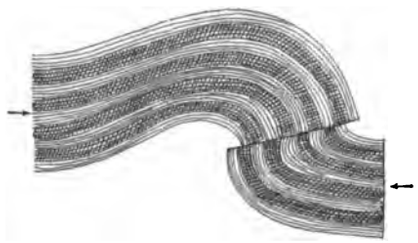


Fig. 129. — Effet d'une pression relativement forte sur un prisme composé de couches de cire différemment colorées; la fracture a été précédée d'une inflexion. D'après A. Daubrée (*Études synthétiques de Géologie expérimentale,* 1re Partie, 1879, p. 322).

couches siluriennes, le second cas se soit produit, c'est-à-dire, d'après toutes les explications des chapitres précédents, que parmi ces plis et probablement au-dessus de ces plis, il y ait eu un pli couché. Nous avons vu que, dans ce cas, ce n'est pas seulement la partie supérieure, la partie charriée, mais aussi les parties recouvertes qui sont soumises à des tractions longitudinales La fig. 129, qui reproduit une des expériences de M. Daubrée, montre comment peut se produire dans ces conditions, obliquement aux strates plissées ou non, une brisure analogue à celles que nous supposons; dans la figure, il est vrai, le déplacement produit est lié à l'inflexion des couches; mais une autre expérience (*fig.* 130) montre qu'il peut en être indépendant, et l'on conçoit très bien la formation, dans la partie droite de la première figure, d'une série de diaclases parallèles,

Fig. 130. — Production d'un système de deux failles parallèles entre elles, également consécutives à l'inflexion. D'après A. Daubrée (Ouvrage cité, p. 322).

accompagnant la fracture, ou même la remplaçant par une suite de cassures élémentaires. Une fois ces joints formés, presque parallèlement à la direction

des forces qui continuent à agir, le déplacement le long de leurs surfaces se comprend de lui-même.

La coupe des Highlands pourrait se déduire de celle des Alpes de Glaris par une continuation des poussées horizontales.

On peut mieux encore se rendre compte des mouvements dont la succession a abouti à ces coupes, encore mécaniquement inexpliquées, des Highlands, en prenant pour point de départ la coupe des Alpes de Glaris (*fig.* 106), et en supposant que dans le Nummulitique il y existe une série de joints, à peu près parallèles à la surface qui ramène le Permien. Si, alors, les poussées horizontales reprenaient dans le même sens leur ancienne action, de manière à mettre toute la masse en mouvement vers le nord, on conçoit que le déplacement pourrait ne pas se faire tout d'une pièce, que les différentes *tranches* horizontales déterminées par les joints pourraient s'avancer inégalement, et l'on obtiendrait alors une figure tout à fait semblable aux coupes de l'Écosse. La seule différence proviendrait de ce que les plis secondaires du Nummulitique sont des plis complets, non étirés sur leurs flancs renversés; il suffirait de supposer que, dans ces plis secondaires, tous les flancs renversés soient remplacés par des plis-failles, pour que la ressemblance aille jusqu'à l'identité.

La coupe s'explique par un seul pli couché.

Ainsi, nous arrivons à comprendre la structure des Highlands comme résultant non pas de trois grands plis couchés, étagés l'un au-dessus de l'autre, ainsi qu'un premier examen en fait naître l'idée, mais, au contraire, d'un pli couché unique, morcelé et défiguré par les glissements postérieurs.

L'analogie de ce pli restitué serait surtout frappante avec le pli sud de Glaris, dont le pli du bassin belge, d'ailleurs, diffère lui-même si peu. On est frappé alors, en cherchant à poursuivre la comparaison dans les détails, de l'existence au-dessous des micaschistes charriés, c'est-à-dire au-dessous du pli incliné de Moine, et *de celui-là seulement*, d'une petite bande de terrains énergiquement métamorphisés, et désignés sous le nom de gneiss laminés (*sheared gneiss*). Or, il n'est plus guère contesté que le métamorphisme mécanique ne puisse déterminer dans des schistes le développement de minéraux gneissiques, et même une structure entièrement cristalline. Ces *sheared gneiss* peuvent donc, avec beaucoup de vraisemblance, représenter le flanc renversé du grand pli originaire; les schistes siluriens qui formaient ce flanc auraient été transformés en pseudo-gneiss, comme le calcaire jurassique de la Suisse, laminé entre le Permien et le Nummulitique, a été transformé en marbre. L'absence de bande semblable au-dessus des autres plans de poussée vient singulièrement à l'appui de l'explication proposée, c'est-à-dire de l'existence primitive d'un pli couché, et d'un *pli couché unique* (1).

Peu de probabilité

Il reste maintenant à examiner si la différence d'allures, qui semble ainsi

(1) Cette explication, que je croyais nouvelle, a, paraît-il, été déjà proposée dans les *Transactions* de la Société Royale d'Édimbourg par un des géologues du Survey qui ont relevé ces coupes; on a pu même reproduire expérimentalement le mécanisme du phénomène; H. M. CADELL, *Experimental Researches in Mountain Building* (Vol. XXXV, part. 7, p. 337-357, 1888),

que les différences des coupes tiennent à la différence d'âge des plissements.

s'échelonner de la chaîne la plus récente à la chaîne la plus ancienne, peut être *une question d'âge*, s'il y a une raison pour que les forces aient été différentes ou pour que les mêmes forces n'aient pas produit les mêmes effets aux diverses époque de l'Histoire de la Terre. Au point de vue philosophique, une variation dans la nature des forces n'est guère à discuter; mais le calcul, sous réserve des hypothèses développées plus haut (Chapitre II), montre que l'épaisseur de la zone superficielle soumise à des compressions latérales par suite du refroidissement est proportionnelle au temps écoulé depuis le début de ce refroidissement, qu'elle a donc dû être beaucoup moindre à l'époque silurienne qu'à l'époque tertiaire. Il pourrait y avoir là une cause de différence dans les phénomènes produits. Cependant, je crois bien plus naturel et bien plus probable de chercher la véritable cause, non dans ces considérations générales, mais dans les conditions *locales* de gisement, et dans les variations des résistances développées par le mouvement même des couches.

La cause peut en être cherchée dans la faible épaisseur des couches affectées par les plissements.

Or, un fait frappe immédiatement dans les coupes des Highlands, c'est le peu d'épaisseur des terrains enveloppés dans le plissement. Quel que soit l'âge des schistes cristallins qui forment la nappe de recouvrement, ni eux, ni aucuns schistes cambriens n'entrent dans la composition du substratum : les couches siluriennes y reposent directement sur les gneiss anciens; ceux-ci, par suite des plissements antérieurs, étaient plus ou moins inaptes à se plisser de nouveau, et le Silurien n'a pas 400^{m} d'épaisseur. Ce sont ces 400^{m} qu'il faut comparer aux masses si épaisses des terrains alpins, ou encore à celles du Dévonien et du Carbonifère de l'Ardenne. Il y a une différence énorme, qui suffit à motiver la différence des effets produits. Si les bancs même les plus solides et les plus résistants ont pu se plisser sans cassure, c'est, comme je l'ai expliqué plus haut, conformément aux idées de M. Heim, parce que l'énormité des pressions supportées dans tous les sens arrive à contrebalancer les effets de la cohésion et met alors toutes les matières, quelles qu'elles soient, dans un état comparable à celui des matières plastiques de la surface. Si, au contraire, les forces de pesanteur sont insuffisantes pour les maintenir verticalement, les bancs peuvent se briser, quand les pressions latérales triomphent de la cohésion. Sans se départir de la réserve que commandent de pareilles questions, on peut croire qu'il y a là une raison suffisante pour que les masses soumises au plissement ne se soient pas comportées de la même manière.

Coupes de la Scandinavie; si l'on veut y étendre l'interprétation adoptée pour l'Écosse, il faut supposer des déplacements horizontaux de 100^{km}.

Il résulterait de là que la série des plans de poussée qui constituent l'étrangeté des coupes de l'Écosse, doivent avoir un caractère local, qu'ils doivent disparaître quand les étages siluriens augmentent d'épaisseur, même si le pli couché lui-même se continue. Or, la chaîne silurienne se prolonge tout le long de la Scandinavie, dont l'axe est formé, comme les Highlands, par une large bande de Silurien comprise entre deux massifs gneissiques. Le grand pli couché se continue-t-il sur tout ce parcours, ce qui en porterait la longueur à 2000 kilo-

mètres? L'idée a dû en venir naturellement, à cause des nombreuses superpositions constatées de schistes cristallins sur le Silurien. M. Törnebohm, qui a étudié la question, a montré que dans cette hypothèse, il faut admettre des déplacements horizontaux de *cent kilomètres* (1). Quoique l'explication proposée pour les Highlands amène à supposer que (sauf les tranches restées en retard), le déplacement vrai est la somme des déplacements relatifs à tous les plans de poussée, l'esprit se refuse à admettre de telles conséquences, tant qu'elles ne peuvent être contrôlées par des preuves paléontologiques. En tout cas, si ces prodigieux déplacements ne sont pas une illusion, c'est l'étude de la Scandinavie qui pourra peut-être montrer un jour si les coupes de l'Écosse ont réellement un caractère local, et s'il y a eu un type spécial de plissements pour la période silurienne.

(1) *Bull. Soc. géol. de Fr.*, 3e série, t. XVI, 1887-88, p. 692.

CHAPITRE VII.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

Nécessité d'un résumé général.

J'ai dû, dans le cours de ce Mémoire, entrer dans un certain nombre de détails locaux, pour permettre de juger sur quelle série d'observations et d'arguments était maintenant fondée l'interprétation nouvelle de la structure de la Provence. Ces détails, quoique je me sois efforcé de les réduire au strict nécessaire, présentent, par leur nature même, un caractère d'aridité qui doit rendre la lecture du Mémoire un peu fastidieuse, et leur développement ne permet pas de retrouver sans quelque recherche les résultats principaux. Je crois donc utile, avant de formuler les conclusions qui me semblent ressortir des faits aujourd'hui connus, de résumer brièvement chacun des Chapitres précédents, en insistant seulement sur les points qui présentent quelque nouveauté ou quelque importance pour les conclusions.

La constatation des grands déplacements horizontaux et de leur généralité peut seule fournir une preuve matérielle en faveur de la théorie du refoulement latéral.

L'Introduction et le résumé historique (Chap. I et II) ont surtout pour but d'établir sur quel ordre d'arguments a été fondée pendant longtemps la croyance au refoulement latéral. Ces arguments sont suffisants pour rendre cette théorie beaucoup plus vraisemblable et plus satisfaisante que toute autre; elle a pourtant toujours rencontré des adversaires, et, malgré l'appui de l'expérimentation, on doit convenir qu'elle n'était pas fondée sur des preuves matérielles qui pussent l'imposer en cas de contestation. Cette preuve matérielle, c'est dans la constatation des déplacements horizontaux, et surtout dans leur généralité, qu'il faut la chercher.

Discussion des objections théoriques.

La théorie du refoulement latéral n'est pas liée d'une manière nécessaire à celle du refroidissement de notre planète; ce refroidissement, cependant, apparaît comme l'origine la plus vraisemblable des tensions et compressions développées dans l'écorce; j'ai donc cru utile de discuter, au moins sommairement, les

prétendus désaccords allégués entre les faits admis en Géologie et les résultats des calculs de Physique mathématique. Les calculs qui prétendent démontrer que l'intérieur de la Terre est *solide,* montrent seulement que les molécules n'ont pas la liberté de s'y mouvoir les unes par rapport aux autres, ce qui est la conséquence nécessaire de la pression supportée et ne préjuge rien sur l'état physique. Quant à la prétendue insuffisance du raccourcissement *théorique* du rayon pour expliquer le raccourcissement *mesuré* d'un grand cercle de la surface, il n'y a pas à s'y arrêter, non seulement à cause de l'incertitude des données numériques qu'il faut introduire dans les formules pour les appliquer à la Terre, mais surtout parce que les mesures de ce raccourcissement, déduites des coupes géologiques des chaînes montagneuses, se basent sur un *postulatum,* qui est loin d'être évident et qui même est contredit par les faits décrits dans le cours de ce travail.

Le troisième Chapitre est consacré à l'analyse générale des plissements et des déplacements relatifs (ou failles) qui en sont la conséquence. J'insiste surtout sur la différence capitale des déplacements dus à la pesanteur; qui ont tendance à se produire verticalement, indépendamment de la direction des couches, et des déplacements dus aux compressions horizontales, qui ont tendance, surtout dans les plis renversés et couchés, à se produire suivant des surfaces voisines des surfaces de stratification. Il en résulte, toutes les surfaces de stratification étant des surfaces de glissement facile, que le déplacement relatif ne se fait plus en une fois, mais se répartit en une série de déplacements élémentaires, dont le résultat visible est l'amincissement ou la suppression d'une partie des bancs. Cet effet est particulièrement sensible dans les plis couchés, qui ne sont pas seulement des plis rabattus horizontalement, mais des plis *allongés* par une sorte de déroulement progressif, par un étalage de leurs matériaux sur une plus grande surface.

Analyse générale des plissements et des déplacements relatifs qui en résultent. Classification des failles.

Étirements.

Les plis couchés ont ainsi étendu, au-dessus des terrains les plus récents de certaines régions, des nappes épaisses de terrains plus anciens, qui ont masqué les premiers sur des largeurs de plusieurs kilomètres. Quand ces nappes ont été attaquées et enlevées en partie par la dénudation, il n'en reste plus que des *îlots* isolés, dont l'origine semblerait souvent inexplicable, si la présence à leur base d'une *petite bande intermittente de terrains renversés* ne permettait de rattacher cette origine à l'existence de grands plis couchés. On a ainsi la preuve de déplacements horizontaux de 6, 8 et même 15 kilomètres.

Je signale en outre l'importance et la généralité des décrochements horizontaux : dans les masses mises ainsi en mouvement, par suite d'inégalités soit dans les forces de refoulement, soit dans les résistances qui leur sont opposées, certaines parties peuvent s'avancer plus loin que d'autres; de là résulte une déviation, un décrochement du pli, avec ou sans fracture. Ces sortes de failles à déplacement horizontal (*Blätter*), qui sont souvent l'origine des cluses, ne

Failles de décrochement.

seraient qu'un cas simple de torsions plus complexes, dont la cause est la même, mais sur lesquelles ce Mémoire attire pour la première fois l'attention.

La Provence prise pour type. Description résultant d'études personnelles.

Pour passer à l'étude plus détaillée des phénomènes dont ces premiers Chapitres indiquent la nature et l'importance, je prends pour type la Provence, qui est la région française où ils sont le plus développés. Les faits que je décris dans ce Chapitre (IV) résultent tous d'études personnelles, poursuivies pendant dix ans; la structure de ce pays, telle qu'elle ressort de cet exposé, n'avait même pas été soupçonnée auparavant, malgré les nombreux travaux dont il avait été l'objet.

Ce Chapitre est lui-même subdivisé en dix sous-chapitres, traitant successivement de l'allure générale des grands plis et de la coupe détaillée de chacun d'eux.

Histoire sédimentaire de la région. Rôle du massif des Maures. Plis couchés; plis sinueux; affaissements locaux.

Je donne d'abord un résumé de l'histoire sédimentaire de la région, où je montre que toute la série des étages s'y développe sans discordance, depuis le Permien jusqu'à l'Éocène. Toute cette série est discordante au contraire avec les terrains cristallins des Maures, qui, depuis la fin de la période primaire, formaient un massif émergé dont l'influence n'a pas cessé de se faire sentir, directement ou indirectement, sur les phénomènes de sédimentation. Quant à la structure géologique, le point capital, qui seul peut donner la clef de toutes les anomalies apparentes, c'est que *la Provence est un pays plissé*. Si la chose a pu passer si longtemps inaperçue, c'est que les plis, étant des plis couchés, ne donnent qu'exceptionnellement aux couches une grande inclinaison, et que de plus ces plis, au lieu d'être rectilignes, sont profondément sinueux, et par conséquent ne font pas ressortir une direction dominante dans une série de chaînons parallèles.

J'indique enfin, comme venant encore compliquer l'étude de la région, l'existence d'une traînée de bassins d'affaissement, jalonnant une ligne presque droite, entre Signes et Marseille.

Dessin général des plis successifs.

Si complexe que soit une région de plissements, les problèmes qu'elle présente peuvent se ramener à un problème relativement simple, celui de la coupe tranversale d'un pli, dès qu'on a pu reconnaître et tracer les lignes directrices de chacun des plis synclinaux et anticlinaux. C'est là, il est vrai, un résultat qui ne se dégage qu'après tous les autres, et même pour certaines régions dont la carte géologique détaillée est terminée, comme la Suisse, un pareil travail serait encore impossible. Je ne crois pas que le schéma que je donne pour la Provence puisse être regardé comme définitif : une grande bande transversale de terrains triasiques coupe en écharpe toute la région étudiée, et interrompt la continuité des plis; de part et d'autre de cette bande, les raccordements sont impossibles ou au moins arbitraires. On peut cependant mettre en évidence la succession de quatre grands plis : le pli du Beausset, le pli de la Sainte-Baume,

auquel correspond celui de la Nerthe; le pli de Brignoles, et enfin le pli de Salernes, auquel on peut rattacher, au nord-est, le pli d'Aups et peut-être même celui d'Ampus; le raccordement du pli de Salernes à l'ouest avec ceux de Sainte-Victoire et de l'Olympe est beaucoup plus hypothétique. Chacun de ces plis a produit des déplacements horizontaux considérables, qui sont étudiés dans les sous-chapitres suivants.

Pli du Beausset.

Le pli du Beausset est renversé vers le nord, sur le bassin crétacé du Beausset. Toute la retombée jurassique, sur le flanc renversé du pli, est supprimée par étirement ou glissement, si bien que la place n'en est marquée que par une faille, dont les contours sinueux laissent présumer l'obliquité. A 5^{km} au nord de cette faille, au milieu du bassin crétacé, le Trias reparaît et forme tout le haut des collines qui dominent le Beausset. On avait toujours vu dans ce Trias une saillie du fond de la mer crétacée, contre laquelle venaient buter les couches sénoniennes; on avait même proposé de choisir ce point comme emplacement d'un sondage qui serait allé rechercher le terrain houiller. Je démontre que ce Trias est superposé au Crétacé, et que c'est un reste de la nappe de recouvrement que le pli couché, sur plus de 5^{km} de largeur, avait étalé au-dessus du bassin crétacé. Au sud, des couches renversées s'intercalent; au nord, au contraire, elles disparaissent, et ce sont des bancs de moins en moins anciens (Muschelkalk, Marnes irisées, Infralias) qui reposent sur le Crétacé.

La démonstration est complétée par l'étude des collines de Fontanieu, où le Muschelkalk occupe la même position au-dessus du Crétacé, mais se rattache sans discontinuité au flanc normal du pli, c'est-à-dire à la série des couches qui plongent régulièrement vers la mer, surmontées par toute la succession des étages jurassiques. A Fontanieu, la superposition du Trias au Crétacé a été vérifiée par des travaux de mines.

Les renversements se continuent à l'ouest jusqu'à la mer, mais ils cessent rapidement à l'est, où le pli se contourne et se bifurque, pour aller s'arrêter et se perdre dans la bordure permienne qui entoure les Maures. S'il y a eu des recouvrements de ce côté, ils ont entièrement disparu par dénudation, mais on retrouve sous deux autres formes la preuve de déplacements horizontaux importants : d'abord, la torsion brusque du pli a fait pénétrer un coin de Jurassique et de Trias, comme à l'emporte-pièce, au milieu des assises crétacées (vallon de Broussan); de plus, on rencontre la trace d'une ou de plusieurs surfaces de discontinuité, très ondulées, mais ondulant autour d'un plan moyen presque horizontal, et le long desquelles une partie de la série normale est supprimée; c'est ainsi que les sommets urgoniens du Cap Gros, du Faron et du Coudon sont, ou complètement ou sur trois côtés, entourés par des failles, qui ne sont probablement que les affleurements de *la même* surface de discontinuité. En suivant plus au nord la ligne des coteaux qui surmontent la bordure permienne,

on observe dans la série normale des couches des suppressions analogues, qui arrivent, près de Solliès et de Cuers, à faire disparaître tout le Trias, et là, on voit plus nettement encore que *les surfaces de discontinuité sont à peu près parallèles aux plans des couches :* l'Infralias peu incliné *repose sur le Permien* ou le Grès bigarré. On a donc la preuve, très intéressante et très importante au point de vue théorique, que dans les régions de plis couchés, les glissements horizontaux ne se produisent pas seulement dans les parties amenées en superposition anormale, mais aussi dans la série inférieure des couches recouvertes, dans celles qu'on croirait d'abord être restées sans déplacement dans leur position première.

Pli de la Sainte-Baume ; son rattachement au pli de la Nerthe.

Le pli de la Sainte-Baume limite au nord le bassin synclinal du Beausset; il est également renversé vers le nord, sur le petit bassin crétacé du Plan d'Aups. L'étude des collines qui séparent ce bassin de la vallée de Saint-Zacharie montre que ce second pli couché étendait ses nappes de recouvrement sur une largeur de près de 10^{km}. Les apparences sont extraordinairement compliquées, parce que des tassements postérieurs ont dénivelé à la fois ces nappes de recouvrement et le Crétacé sur lequel elles reposent. De plus, un bombement anticlinal secondaire sépare en deux parties le bassin dénivelé. Les renversements observés en plusieurs points, la sinuosité des lignes de discontinuité, qu'on peut suivre entourant des massifs entiers, permettent cependant de démontrer que ces massifs sont superposés au Crétacé, et en deux points l'observation directe permet de confirmer cette conclusion. Les masses de recouvrement sont là uniquement formées de Jurassique, qui conserve en général son entier développement; pourtant, la suppression intermittente des calcaires à silex (Lias et Bajocien) prouve que des glissements secondaires ont eu lieu dans ces masses et ont accompagné le grand glissement d'ensemble.

M. Zürcher a retrouvé la continuation des mêmes phénomènes vers l'est sur une longueur de plus de 20^{km}, jusqu'au sud de Brignoles. Dans la vallée de Roquebrussane, il a constaté que le Crétacé pénètre de 3^{km} sous le Jurassique et le Trias, et que la montagne jurassique de la Loube, avec ses cimes déchiquetées, hautes de 830^{m}, repose au moins en partie sur les couches daniennes.

Le pli de la Sainte-Baume, comme celui du Beausset, se ramifie de ce côté en plusieurs autres, qui tous s'abaissent et disparaissent avant d'atteindre la bordure permienne.

Du côté de l'ouest, la continuation du pli de la Sainte-Baume donne lieu à des complications d'une autre nature : il est interrompu par la bande triasique de la vallée de l'Huveaune, le long de laquelle les étirements des couches prennent une importance croissante, au point de mettre le Trias en contact direct avec le Crétacé; mais les dénudations n'ont nulle part laissé subsister d'amorce de renversement, si bien qu'on ne peut décider avec certitude si les

masses qui se sont étendues sur le bassin du Plan d'Aups sont venues seulement du sud, ou si elles sont venues à la fois du sud et du nord-ouest.

Massif d'Allauch.

De l'autre côté de la bande triasique, on trouve à quelques kilomètres plus au nord le pli de l'Étoile, qui s'amorce dans les collines d'Auriol et de Peipin; il ne semble pas, à un premier examen, avoir produit des chevauchements aussi considérables; mais l'étude du massif d'Allauch, situé en arrière vers le sud, permet de conclure que la zone des déplacements horizontaux s'est étendue, là, jusqu'en face de ceux de la Sainte-Baume, ce qui entraîne le raccordement des deux plis.

A l'est comme à l'ouest de la bande triasique, les masses mises en mouvement se seraient avancées à peu près aussi loin vers le nord; mais il y aurait eu des déplacements inégaux de la charnière synclinale qui enveloppe les couches crétacées. Dans une hypothèse, cette charnière synclinale, dénudée au-dessus de la bande triasique, décrirait une boucle presque fermée autour du massif d'Allauch; les couches de cette charnière auraient donc été forcées d'envelopper et de mouler ce massif en se distendant comme l'eût fait une membrane élastique, c'est-à-dire en s'étirant et en se déchirant même sur certains points. La charnière synclinale serait restée, là, de 8^{km} en retard sur le mouvement général; ce nombre de 8^{km} représenterait donc un minimum pour le déplacement horizontal produit dans cette partie de la région. Il correspond bien, d'ailleurs, au nombre trouvé pour la Sainte-Baume.

Une seconde interprétation est possible, en invoquant des plissements transversaux et postérieurs; mais elle laisse subsister d'assez graves difficultés. Elle mène d'ailleurs aux mêmes conclusions générales, relativement au rôle des glissements horizontaux dans la région et aux déplacements inégaux de la charnière synclinale.

On se trouve de plus amené, pour le massif d'Allauch, à admettre des glissements importants des assises les unes sur les autres, pour expliquer les lacunes apparentes de la série crétacée. La disposition locale de l'Urgonien, de l'Aptien et du Cénomanien ne peut guère, en effet, être attribuée aux circonstances même de la sédimentation, car ces étages sont très uniformément développés sur tout le pourtour du massif.

Le pli de la Nerthe va se terminer peu au delà du tunnel de ce nom, après avoir décrit près de Simiane une nouvelle sinuosité, véritable rebroussement local, qui isole un promontoire triasique au milieu de l'Aptien.

Pli de Brignoles, complètement replié sur lui-même.

En continuant à remonter vers le nord, on rencontre le pli de Brignoles, qui ne s'étend pas aussi loin vers l'ouest que les précédents et qui se compose de deux branches parallèles, toutes deux arrêtées à la bande transversale du Trias de Barjols. En arrivant à la bande triasique, les deux branches s'infléchissent l'une vers l'autre et sont reliées par une faille de superposition oblique, qui continue aussi bien le flanc sud de la branche méridionale que le flanc sud de

la branche septentrionale. Ces deux branches ne forment donc qu'un seul et même pli, complètement *replié sur lui-même,* et enveloppant de toutes parts le petit bassin crétacé du Val. La branche du sud ne montre pas de renversements, ou du moins le pli anticlinal reste droit et régulier, jusqu'au moment où il se contourne vers le nord; alors, toute la retombée jurassique s'étire et disparaît, et le Trias vient en contact avec le Crétacé, sur lequel il se renverse et qu'il recouvre sur quelques centaines de mètres. Puis le pli, décrivant une demi-circonférence complète, s'infléchit de nouveau vers l'est; sa retombée jurassique reparaît, compliquée même de deux plis secondaires, qui tournent avec le pli principal, et qui sont comme lui renversés *vers le sud.* Le renversement du pli principal va en s'accentuant de plus en plus; un des plis secondaires couche, près du Val, l'Infralias sur les sables du Crétacé; près de Vins, il couche sur les mêmes sables toute la série jurassique renversée; mais à Peygros, le pli principal passe par dessus ces plis secondaires et va sur une largeur de 2^{km} superposer au Crétacé une nouvelle nappe d'Infralias, avec lambeaux de Bathonien renversé. Un fait bien remarquable, qui me semble fournir la preuve de nouveaux glissements, c'est que là, sur une longueur de 12^{km} environ, le Crétacé et la Bauxite qui l'accompagne reposent directement sur le Bathonien supérieur.

Au Thoronet, centre de l'exploitation des Bauxites, le pli ou, pour mieux dire, les deux branches parallèles du pli s'infléchissent vers le sud-est. Le pli nord s'efface et n'est plus marqué que par une retombée d'Infralias; le pli sud, au contraire, se dresse en un chaînon bien accusé qui, dirigé presque normalement à la bordure, va s'arrêter brusquement, sans s'abaisser, sans que ses couches cessent d'être verticales, au bord de la plaine permienne, où l'on n'en trouve plus de trace. Il y aurait donc là une faille d'un genre spécial, qui semblerait couper le pli transversalement; mais si l'on suit le contour de cette prétendue faille, on la voit entourer le sommet d'un pic isolé (le Cannet-du-Luc) et rejoindre vers le nord celle qui représente la place du synclinal écrasé du Thoronet. De plus, le sommet ainsi isolé par cette faille est composé de *Bathonien horizontal renversé, qui repose sur le Permien.* Ces apparences s'expliquent par une nouvelle inflexion du pli vers l'est, c'est-à-dire parallèlement à la bordure; en tournant, le pli se renverse et s'étire, mais avec cette particularité que c'est le flanc normal, et non plus le flanc renversé, que les glissements ont supprimé. Quant à la continuation du pli vers l'est, *elle a été dénudée,* et comme ce pli était un pli couché, la dénudation a pu le faire disparaître entièrement, sans qu'on puisse même, dans les affleurements restants, en reconnaître l'emplacement primitif.

Le pli de Brignoles n'amène pas de déplacements horizontaux aussi considérables que les précédents : ceux que j'ai constatés ne dépassent pas 3^{km}; mais il est peut-être plus extraordinaire encore, par l'apparence qu'il offre d'un *pli replié sur lui-même.* Une autre particularité remarquable est que ces

déplacements ont eu lieu vers le sud. La coupe observée à l'endroit où le pli semble se terminer brusquement contre la bordure permienne, au Cannet-du-Luc, avec la superposition horizontale du Bathonien renversé sur le Permien, est certainement une des plus extraordinaires de la région. Elle s'explique pourtant sans invoquer d'autres phénomènes que ceux qui ont été déjà constatés plusieurs fois, le renversement et l'étirement des plis aux places de torsion.

Pli d'Esparron.

Je décris ensuite le pli d'Esparron, pli secondaire remarquable parce que, malgré son faible développement en direction, qui ne dépasse par 15^{km}, il a produit des déplacements horizontaux importants, atteignant 3^{km}. Ce pli ne se rattache pas à celui de Brignoles, mais il doit figurer à cette place, comme compris entre le pli de la Sainte-Baume et la prolongation probable de celui de Salernes. Ce pli montre sur une partie de son parcours le Crétacé, adossé à une falaise infraliasique et, plus à l'ouest, ce même Crétacé adossé à une falaise de Jurassique supérieur. Je montre qu'il pénètre sous l'une et sous l'autre; une ligne de petits affleurements crétacés, qui reparaissent en trois points au milieu du Jurassique, permet de déterminer la profondeur de cette pénétration. La conclusion n'est pas aussi simple qu'on est porté d'abord à l'admettre, parce qu'il y a peut-être là une torsion du pli. Je discute les deux solutions possibles; mais à l'est, l'évaluation devient plus facile et plus certaine : on y trouve, en avant de la falaise, des îlots jurassiques superposés au Crétacé, et de plus un *trou* dans l'Infralias laisse apercevoir, au lieu de Marnes irisées, des marnes bathoniennes, qui représentent, sans aucune autre explication possible, le flanc renversé du pli.

Pli de Salernes. Ses sinuosités.

Le quatrième grand pli est celui de Salernes; il est doublement intéressant par les plis secondaires qu'il permet de constater, tantôt au-dessous de la nappe de recouvrement, tantôt dans cette masse elle-même, et aussi par les larges sinuosités de sa continuation orientale aussi bien qu'occidentale. A la Bouissière, l'Infralias horizontal repose sur le Bajocien et le Bathonien plusieurs fois plissés et verticaux, et les deux séries sont séparées par une mince traînée de sables rouges crétacés. Près de Salernes, la nappe de recouvrement montre au-dessus de l'Infralias le Bajocien replié horizontalement sur lui-même et enclavant dans un $<$ les marnes bathoniennes. La largeur du recouvrement est d'au moins 3^{km}; à Saint-Barnabé, un *trou* dans cette nappe d'Infralias n'a pas pénétré jusqu'au Crétacé, mais montre, comme dans le pli d'Esparron, les marnes bathoniennes au-dessous de l'Infralias, c'est-à-dire le retour du pli qui se complète en profondeur; à la Ferme, au contraire, un trou analogue fait apparaître directement, c'est-à-dire sans interposition de termes renversés, une enclave crétacée au milieu de l'Infralias.

Rattachement aux plis d'Aups et d'Ampus du côté de l'est, et à

La continuation à l'est du pli de Salernes est particulièrement difficile à suivre; une série de petits affleurements discontinus permet pourtant de montrer qu'elle s'infléchit vers le nord, puis vers l'ouest, pour revenir former le bassin

ceux de Sainte-Victoire et de l'Olympe du côté de l'ouest.

d'Aups, orienté parallèlement à celui de Salernes. Dans le bassin d'Aups, c'est le bord septentrional qui a été poussé au-dessus du Crétacé, en produisant l'îlot bajocien de Saint-Jean et la presqu'île de Moissac; le sens des mouvements horizontaux est donc là, comme au Val, comme peut-être à Saint-Zacharie, opposé à celui du déplacement général, qui a eu lieu vers le nord; et l'on voit ainsi que dans ces trois cas, le changement dans la direction du déversement correspond à une torsion du pli déversé. La règle semblait être, pour les chaînes de montagnes étudiées, que les plis d'un même versant se renversent tous dans le même sens; pour la Provence, au moins, il convient de la modifier de la manière suivante : les plis d'un même versant se renversent toujours sur le synclinal qui leur fait suite du côté opposé à l'axe de la chaîne.

Le synclinal d'Aups va, comme celui de Montmeyan (bassin intermédiaire de Fox-Amphoux), comme celui d'Ampus au nord-est, se perdre en s'abaissant progressivement dans la grande plaine tertiaire de la Durance; c'est-à-dire que cette plaine est bordée au sud-est par un grand plateau incliné, où les plis de la région de Draguignan ne se continuent plus que par de molles ondulations. Le pli secondaire des Gypières, au-dessus d'Aups, indique pourtant une tendance à s'infléchir de nouveau pour revenir par Notre-Dame-de-Liesse former le bord sud du bassin d'Ampus; il est certain, en tout cas, que dans ce dernier bassin crétacé, c'est de nouveau le bord méridional qui a été poussé vers le nord, au-dessus des sables crétacés et tertiaires, que couronnent encore quelques sommets d'Infralias.

Du côté de l'ouest, le pli anticlinal de Salernes va former à partir de Barjols le nord de la grande bande triasique, qui semble diviser en deux parties distinctes toute la région. Ce Trias ne communique pas à l'ouest avec celui de Rians : il y a entre les deux une sorte d'isthme jurassique, qui dessine un léger bombement, et dans lequel le Bathonien *repose directement* sur la lumachelle à *Avicula contorta*. Si, comme je le présume, c'est bien là qu'il faut chercher la continuation du pli, la place en est plus marquée par les étirements que par les inclinaisons des bancs.

Je n'insiste pas sur l'hypothèse qui me fait relier le pli de Sainte-Victoire à celui de Rians, n'ayant pu encore étudier cette partie de la région personnellement; ce qui est certain, en tout cas, c'est que le pli de Sainte-Victoire se relie à Saint-Maximin, par une inflexion brusque, à celui de l'Olympe, c'est-à-dire que le bassin de Fuveau est entouré de ce côté *par un seul et même pli anticlinal*, qui, conformément à la règle énoncée plus haut, se renverse partout sur le bassin qu'il entoure.

Je donne pour terminer les preuves de la pénétration du Crétacé sous le massif de l'Olympe : une enclave de couches à *Melanopsis*, reconnue pour la première fois par M. Collot; une autre enclave de marnes rouges, attribuées à tort aux Marnes irisées, et qu'un ossement de Reptile démontre être crétacées,

enfin la présence à la base de l'Infralias d'un banc de calcaire blanc, transformé en marbre et représentant le flanc jurassique renversé — telles sont les preuves qui permettent d'affirmer que cette pénétration est de plusieurs kilomètres.

Coupe générale de la Provence.

Le pli de Salernes, après toutes ses sinuosités, est revenu s'aligner parallèlement à la chaîne de la Sainte-Baume; on peut donc, par ce point, faire passer une coupe qui montre la succession des trois grands plis couchés de la région, dégagée de toutes les complications dues aux torsions, et qui résume d'une manière frappante le rôle des déplacements horizontaux en Provence.

Plis couchés des chaînes tertiaires.

Les deux derniers Chapitres ont pour but de montrer, après l'étude détaillée des plis couchés dans la région choisie comme type, la généralité des mêmes phénomènes dans les autres chaînes de montagnes, les plus récentes comme les plus anciennes. Je m'occupe d'abord des chaînes tertiaires de l'Europe, c'est-à-dire des Pyrénées et des Alpes, entre lesquelles la Provence forme un véritable trait d'union, et dans cette première partie, je distingue deux séries de faits : ceux qui sont relatifs au versant septentrional et ceux qui se rapportent au versant méridional.

Versant septentrional des Pyrénées et des Alpes.

Les Pyrénées. Pli couché de Bugarach.

Dans les Pyrénées, un seul exemple de pli couché est connu, c'est celui du Pic de Bugarach, signalé par M. Carez; le déplacement horizontal est de 3^{km} au moins, et il aurait amené le Jurassique en superposition sur le Sénonien.

Les Alpes Françaises: massifs de Sulens et des Annes.

A l'est de la Provence, la région des Alpes Maritimes offre probablement des faits du même genre (Mont-Agel), mais encore mal connus; dans celle de Castellane, les déplacements horizontaux semblent s'être traduits moins par des recouvrements, dont il y a pourtant des exemples, que par la torsion des plis, qui s'exagère et se manifeste avec plus de brusquerie encore qu'en Provence; mais les grands plis couchés semblent ne reparaître, dans l'état actuel des observations, qu'en se rapprochant des massifs cristallins du Pelvoux et du Mont-Blanc. C'est du moins l'interprétation qui paraît s'imposer, jusqu'à nouvel ordre, pour les deux sommets jurassiques de la Cavale et du Soleil-Biou, au sud du Pelvoux, et pour les massifs de Sullens et des Annes, à l'est d'Annecy.

Les Alpes Suisses: la Dent du Midi et la Dent de Morcles.

En suivant la même bande de plissements, on rencontre en Suisse des exemples plus nets et mieux étudiés : celui de la Dent du Midi, qui repose sur un soubassement nummulitique, et, de l'autre côté du Rhône, celui de la Dent de Morcles et du Grand Mœveran. Pour ce dernier, le déplacement horizontal serait de 6^{km} au moins. Un fait très remarquable est l'étirement du flanc normal inférieur, qui supprime plus ou moins complètement la série jurassique et crétacée entre le Trias et l'Éocène.

Il est plus que probable que le même pli se poursuit jusqu'aux Alpes Bernoises; mais comme là, les masses de recouvrement seraient (ainsi que dans le massif d'Allauch) en continuité avec la retombée normale, l'étude en est difficile et a d'ailleurs été faite incomplètement.

Les Alpes Bernoises; discussion du double pli de Glaris.

Avec le massif des Alpes Bernoises réapparaissent avec évidence et avec une nouvelle ampleur les phénomènes de recouvrement, mais avec des complications qu'on n'a cru pouvoir expliquer jusqu'ici que par un *double pli*. Je montre que si cette interprétation est exacte, c'est-à-dire que si dans les masses superposées au Nummulitique, une partie est venue du sud et une autre du nord, il est au moins vraisemblable que les deux plis se rejoignent sous les alluvions de la vallée du Rhin, et ne forment qu'un seul et même pli. Mais je montre aussi que l'hypothèse du double déversement en deux sens différents se heurte à de graves difficultés, dont la plus frappante est l'interruption complète du noyau anticlinal septentrional par la vallée de la Reuss, qui coule constamment dans l'Éocène. En suivant cet ordre d'idées, on serait amené à ce résultat effrayant, qu'entre Interlaken et Glaris toutes les grandes montagnes calcaires sont superposées au Nummulitique, et les déplacements horizontaux qu'il faudrait supposer ne seraient plus de quinze, mais de *quarante kilomètres*. Je n'indique une pareille hypothèse qu'avec toutes les réserves nécessaires; mais j'ai tenu à poser nettement une question dont l'importance n'a pas jusqu'ici été mise en lumière, et dont la solution est indispensable pour faire le raccordement des diverses coupes de la Suisse, et, par suite, pour arriver à comprendre sa structure géologique.

Les Alpes Bavaroises.

Dans les Alpes Bavaroises, les renversements continuent, mais moins marqués, sur la bordure du Flysch; en tout cas, les déplacements horizontaux *apparents* ne sont plus comparables. Je montre, d'après l'étude du Prättigau et la comparaison avec le massif d'Allauch, qu'il y aurait une explication assez plausible de cette différence si frappante entre les deux rives du Rhin : c'est qu'à l'ouest la charnière synclinale serait restée immobile, tandis qu'à l'est elle aurait été entraînée dans le mouvement d'ensemble.

Enfin je signale, d'après M. Uhlig, la continuation des phénomènes de recouvrement jusque dans les Carpathes, en avant du massif du Tatra.

Généralité des déplacements vers le nord sur le versant septentrional des Alpes.

C'est donc sur 1500 kilomètres qu'on suit dans les Alpes la zone des plis couchés, avec des cheminements horizontaux qui atteignent certainement et dépassent peut-être 15 kilomètres. Tous ces mouvements, des Pyrénées aux Carpathes, semblent contemporains, quoique les derniers mouvements des Alpes soient beaucoup plus récents. Ce ne sont pas seulement des phénomènes analogues, c'est *le même phénomène* de mise en mouvement vers le nord des parties superficielles de l'écorce, qu'on suit ainsi à travers toute une moitié de notre continent européen.

Versant méridional des Alpes. Plis couchés vers le sud.

Le versant méridional des Alpes peut être étudié sur une bien moindre longueur que le versant septentrional, parce qu'il est, sur une grande partie du pourtour, abîmé en profondeur ou masqué par les terrains tertiaires discordants. Ce n'est guère que dans le Tyrol qu'on peut l'examiner. Je montre que la

structure connue du Tyrol, celle de grands plateaux peu dérangés et seulement dénivelés par de grandes failles, peut s'expliquer par l'existence de plis couchés profondément dénudés. Je cite à l'appui de cette opinion les coupes du massif de la Gardenazza, celles de la Cima d'Asta, du Monte Picosta, et celles de Lecco; j'ajoute, dans le même sens, une série d'observations personnelles faites dans les environs de Lugano et du lac de Côme. Il résulterait de cet exposé que les plis, sur le versant sud, sont en général couchés vers le sud, comme ceux de l'autre versant vers le nord; et les coupes du versant illyrien de l'Adriatique, ainsi que celles du Mont-Perdu dans les Pyrénées, sont au moins des indices en faveur de la généralité de cette conclusion.

Plis couchés des Montagnes Rocheuses. Influence possible de la grande ancienneté des couches mises en mouvement.

Enfin, je rappelle que dans les chaînes tertiaires de l'Amérique, dont la structure avait pu d'abord sembler régie par d'autres lois, on a trouvé des exemples de déplacements horizontaux aussi considérables qu'en Europe. Dans les Montagnes Rocheuses, au sud du Canada, vers le 51^{e} parallèle, les terrains paléozoïques, y compris le Cambrien, recouvrent le Crétacé sur une largeur d'au moins 5^{km} (estimée même en un point à 7 milles ou plus de 11^{km}). J'insiste sur la différence que présentent pourtant ces coupes avec celles de la Provence et des Alpes, par suite de l'absence presque complète d'étirements dans les masses mises en mouvement. Il semble que la grande ancienneté de ces couches, déjà consolidées depuis longtemps, ait créé des conditions spéciales, en ne permettant que des glissements en masse, et en faisant perdre aux surfaces de stratification, au moins en partie, la propriété d'être des surfaces de glissement facile.

Plis couchés des chaînes plus anciennes.

Dans le Nord de l'Europe, on a pu reconstituer la place de deux chaînes, ou zones de plissement, plus anciennes, l'une datant de la fin de l'ère primaire, l'autre, plus septentrionale encore, datant de la fin de la période silurienne. Dans ces chaînes anciennes, malgré l'énormité des dénudations, on retrouve la trace de déplacements horizontaux comme dans les Alpes, et l'on peut même démontrer que ces phénomènes y ont eu la même généralité.

Pli couché de la chaîne houillère, se poursuivant sur 800^{km}. Comparaisons avec la chaîne alpine.

Le *pli couché* de la chaîne houillère (chaîne hercynienne) est celui qui a amené le Dévonien et le Carbonifère en superposition sur les bassins houillers de la Belgique et du Nord de la France. Je prends pour point de départ la coupe schématique de ces bassins, telle qu'elle a été donnée par M. Gosselet, et je montre que, bien qu'on y parle de failles, ce qu'on ne fait pas dans les Alpes, la disposition des couches et les mouvements qu'elle supppose correspondent exactement à la coupe générale d'un pli couché. J'examine ensuite avec plus de détails les deux principaux îlots de terrains paléozoïques dont les exploitations, malgré le manteau tertiaire qui en masque les affleurements, ont démontré la présence au milieu du terrain houiller. Là, ce sont des galeries de mines qui

ont constaté que le terrain houiller et les couches de houille se continuaient sous ces îlots; ces lambeaux, conservés grâce à des affaissements postérieurs, nous donnent une limite *minima* de l'avancée des terrains paléozoïques au-dessus du Houiller, et par conséquent des déplacements horizontaux qui se sont produits dans la région. Ce *minimum* est déjà de 6^{km}.

Un point intéressant, qui ressort de la coupe de ces îlots, est que la série des couches tend à s'y compléter, à mesure qu'on s'éloigne du noyau anticlinal, c'est-à-dire, en termes plus précis, à mesure qu'on se rapproche de la place probable de l'ancienne charnière anticlinale. La faille de glissement qui sépare le terrain houiller des masses de recouvrement, tend à diminuer d'amplitude et à être remplacée par une superposition, sans suppression de couches, du terrain houiller inférieur sur le terrain houiller productif; de plus, les bancs, très froissés, commencent, au moins dans le lambeau de Landlies, à se relever verticalement; il semble qu'on ait là l'amorce même de la charnière anticlinale.

Je montre ensuite que les phénomènes de recouvrement ne s'arrêtaient pas, comme on le suppose ordinairement, auprès de Liége, mais qu'ils se continuaient au moins 50^{km} plus à l'est, *tout le long du massif cambrien de Stavelot*. J'en conclus que ce massif, également formé de terrains plus anciens discordants, joue dans la structure de la chaîne un rôle comparable à celui des massifs du Mont-Blanc et des Alpes Bernoises dans la chaîne alpine.

Enfin, du côté de l'ouest, je discute successivement les coupes de Fléchinelle, où le bassin semble se terminer sous forme de cuvette régulière et non renversée, celles du Boulonnais, où recommencent les superpositions anormales, et celles du Somerset, où l'exploitation a pu se continuer sous des lambeaux de Calcaire carbonifère, qu'on croyait isolés par des failles verticales. La cessation des renversements à Fléchinelle n'est probablement qu'une apparence due à la dénudation, ainsi que la comparaison avec la coupe de Stolberg en montre au moins la possibilité, et les deux autres exemples rendent très vraisemblable la conclusion que les masses poussées sur le bassin houiller se sont réparties, depuis le Rhin jusqu'au Pays de Galles et peut-être jusqu'à l'Irlande, sur une zone longue de 800 kilomètres.

Les mêmes déplacements horizontaux se retrouvent dans les Appalaches, c'est-à-dire dans la chaîne américaine de même âge, qu'on peut, de l'autre côté de l'Atlantique, faire correspondre à notre chaîne houillère d'Europe.

Pli couché de la chaîne silurienne; explication des anomalies apparentes de la coupe.

La zone des plissements siluriens occupe l'Écosse et la Norvège; les dernières études du Survey ont démontré qu'en Écosse des schistes micacés, d'âge encore indéterminé, mais d'apparence souvent gneissique, ont été charriés au-dessus du Silurien, sur des largeurs de 16^{km}. Les déplacements horizontaux sont donc là au moins égaux à ceux des chaînes plus récentes, mais le détail des coupes y est d'une complication telle, qu'il semble impossible à première vue d'y voir le simple résultat des mécanismes constatés dans l'étude des autres

plis couchés. J'ai essayé de montrer comment les différences qui font l'étrangeté de ces coupes avaient une importance plutôt apparente que réelle, ou du moins comment elles pouvaient assez facilement s'expliquer sans invoquer d'autres principes ni d'autres actions mécaniques que pour les autres plis couchés, et comment les coupes des Highlands pouvaient en quelque sorte se déduire des coupes alpines.

Le trait saillant de ces coupes est l'existence d'une série de surfaces de glissement presques horizontales, superposées les unes aux autres. Le terrain est ainsi comme divisé en un certain nombre de tranches, plus ou moins épaisses, qui sont chacune hachées par une succession de failles indépendantes, c'est-à-dire arrêtées brusquement aux surfaces de glissement. Au-dessus de l'ensemble, vient la grande surface de glissement, qui ramène par-dessus tout le reste les schistes micacés.

Cette dernière seule, selon moi, correspondrait à un grand pli couché; la zone assez mince de gneiss laminés, qui presque partout en forme la base, représenterait la bande de terrains renversés, le flanc inférieur du pli, où les terrains devraient leur cristallinité au métamorphisme mécanique. L'ensemble des autres tranches représenterait le bassin synclinal sur lequel le pli s'est déroulé. Mais, de même que, quand ces bassins sont formés de couches à peu près horizontales, il peut s'y produire, comme nous l'avons vu, une série de glissements qui amincissent ou suppriment une partie des couches; de même, si les couches en sont plissées, on peut supposer que le déplacement d'ensemble y fait naître une série de joints horizontaux, qui jouent, en tant que plans de glissement faciles, un rôle analogue à celui des surfaces de stratification. Si les poussées horizontales continuent à se faire sentir, des déplacements relatifs pourront se produire suivant chacun de ces joints, et l'on arrivera nécessairement aux apparences observées dans les Highlands. Ces apparences sont celles qu'offrirait la coupe de Glaris, si le Nummulitique y était traversé par des joints horizontaux, suivant lesquels auraient eu lieu des déplacements inégaux.

Hypothèse de déplacements horizontaux de 100^{km} en Scandinavie.

La Scandinavie montre, comme l'Écosse, une bande silurienne comprise entre deux bandes de gneiss d'aspect différent. Si l'on ne veut pas supposer une partie de ces gneiss plus récents que le Silurien, il faut admettre des déplacements de *cent kilomètres*. En l'absence de preuves paléontologiques, on ne peut accueillir qu'avec réserve de pareils résultats; ils porteraient à 2000 kilomètres la longueur de cette nouvelle zone de déplacements horizontaux.

Conclusions.

Trois séries de conclusions.

Il reste maintenant à préciser les conclusions qui peuvent ressortir des faits exposés dans ce Mémoire, Je diviserai ces conclusions en trois parties : celles qui sont relatives à la structure de la Provence, celles qui sont relatives au mécanisme général des plis couchés, et enfin celles qui se rapportent à l'origine des chaînes de montagnes et à la théorie des refoulements latéraux.

Conclusions relatives à la Provence.

La Provence est un pays plissé, elle forme le trait d'union entre les plissements des Alpes et ceux des Pyrénées. Les forces mises en jeu n'y ont pas fait surgir des cimes aussi élevées que dans les deux grandes chaînes, mais leur action n'y a pas été moins énergique, et elles ont produit des déplacements importants.

La Provence est un pays de plis couchés.

Les plis principaux de la Provence sont tous des plis couchés, si bien que l'allure horizontale ou peu inclinée domine sur de grands espaces. Ces plis couchés ont amené d'immenses chevauchements, sur plusieurs kilomètres de largeur, et presque toutes les cimes les plus hautes et les plus hardies du pays, quoique formées de terrains jurassiques, reposent au moins en partie sur un soubassement crétacé. Ces cimes, la Sainte-Baume, l'Olympe, la Loube, les deux Bessillons, recouvrent toutes la charnière synclinale du bassin sur lequel a eu lieu le chevauchement ou le charriage. Les parties, au contraire, qui ont été poussées le plus loin en avant, ne forment que des collines peu élevées, en général isolées par la dénudation, et souvent conservées seulement grâce à des affaissements postérieurs. Les mouvements horizontaux constatés vont jusqu'à 6 et 8 kilomètres pour les deux plis les plus voisins des Maures; ils ne dépassent pas jusqu'ici 3 kilomètres pour les plis plus septentrionaux.

Les cimes jurassiques les plus escarpées reposent toutes, au moins en partie, sur un soubassement crétacé.

Les déplacements horizontaux ont atteint 6 et 8^{km}.

Sinuosité des plis.

Les plis se suivent sur d'assez grandes longueurs, plus de 50^{km} pour quelques-uns, mais avec un contour très sinueux et une tendance remarquable à s'atténuer et à disparaître assez brusquement. Le plus méridional, qui est le plus régulier, celui du Beausset, se ramifie à l'est en plusieurs branches qui vont toutes mourir avant d'atteindre la bordure des Maures. Le second, celui de la Sainte-Baume, se termine à l'est d'une manière anàlogue; du côté de l'ouest, il paraît brusquement interrompu par une double boucle, qui en réalité le ramène de 8^{km} plus au nord, et réduit en même temps à une importance beaucoup moindre les phénomènes de recouvrement. Le pli le plus septentrional, celui de Salernes, décrit une série de sinuosités beaucoup plus accusées encore; c'est comme un large feston qui borderait la plaine de la Durance, avec atténuation progressive des bombements, chaque fois que le pli se rapproche de la vallée. Il n'est même pas bien certain que *chacune des dents du feston* ne doive pas

être considérée comme une unité distincte; car leur raccordement au nord ne peut que se présumer sous les terrains tertiaires discordants du bassin de la Durance. Entre ce pli de Salernes et celui de la Sainte-Baume, les apparences de torsion sont plus extraordinaires encore : le pli de Brignoles revient complètement sur lui-même sur une longueur de 40^{km}; si bien que les deux lignes directrices, au nord et au sud, ou si l'on veut les deux branches du même pli qui entoure le bassin crétacé du Val, se suivent parallèlement à une distance de 5 à 7^{km}; et toutes deux disparaissent en même temps en atteignant la bordure permienne, l'une sans doute par dénudation (la dénudation peut complètement faire disparaître toute trace d'un pli couché), l'autre parce qu'elle se perd dans les ondulations des affleurements triasiques.

Chaque pli se couche toujours, malgré ses sinuosités, sur le même bassin synclinal, sur celui qui, dans l'énumération méthodique des plis, lui fait suite vers le nord.

Cette sinuosité des plis n'est ni une hypothèse, ni une interprétation, c'est un fait d'observation, facile à vérifier sur le terrain. Elle peut sembler d'autant plus remarquable, que jusqu'à ces derniers temps (en 1878 encore), on ne songeait à appliquer aux accidents connus de la région d'autre règle que celle des alignements rectilignes. Mais ce qui est le plus digne d'attention, c'est que chaque pli, en dépit de ses sinuosités, se couche toujours sur le même bassin synclinal. La plupart des grands déplacements horizontaux ont eu lieu du sud vers le nord; mais dans les points où le pli a tourné de 180°, les déplacements ont eu lieu du nord vers le sud; et dans ce sens, qu'on serait tenté d'appeler anormal, ils atteignent encore 2 et 3^{km}.

Cette sinuosité des plis n'est pas seulement une apparence, comme on pourrait le croire si elle n'était établie que par les contours des bassins crétacés ou des affleurements triasiques. Il est clair que si, d'une manière générale, deux plis synclinaux parallèles tendent à s'effacer en même temps, et que, dans la même direction, l'anticlinal qui les sépare s'efface un peu plus tôt, les deux bassins crétacés pourront se rejoindre et entourer la pointe de l'anticlinal intermédiaire, sans que pourtant il y ait eu aucune torsion dans les plis. Mais si les bords extérieurs de ces deux bassins crétacés sont constamment verticaux, la courbe formée par ces couches verticales autour de la pointe du bombement intermédiaire est évidemment le résultat d'une propagation curviligne ou d'une torsion du pli. Et cela est vrai à plus forte raison, si ces couches de bordure du bassin crétacé sont non seulement verticales, mais renversées sur ce bassin. Or, c'est là un cas fréquent en Provence, tellement fréquent qu'après avoir déterminé les lignes directrices de chaque pli par la simple considération de continuité, j'ai cru pouvoir énoncer la règle suivante : chaque pli, quelles que soient les irrégularités de son parcours, se déverse toujours sur le même bassin synclinal, sur celui qui, dans l'énumération méthodique des plis, lui fait suite vers le nord.

S'il y avait là, comme je l'avais cru d'abord, une règle générale, elle serait bien remarquable, et l'on n'en apercevrait pas immédiatement de raison déter-

minante. Dans la première rédaction de ce Mémoire, j'avais cru pouvoir proposer sous toutes réserves l'explication suivante : le massif cristallin des Maures forme autour de la région étudiée une sorte d'équerre, dont les côtés sont dirigés d'abord de l'ouest à l'est, puis du sud vers le nord. La direction des terrains cristallins suit cette inflexion, et l'on peut supposer qu'il y a là une véritable torsion due à l'inégalité des déplacements vers le nord, produits par les plissements post-crétacés; les déplacements auraient été plus superficiels du côté de l'ouest, et les gneiss de Cannes se seraient avancés plus loin vers le Nord que ceux qui les continuaient du côté de Toulon; les terrains compris entre les deux branches de l'équerre auraient été ainsi refoulés vers l'ouest en même temps qu'ils étaient poussés vers le nord, et par conséquent se seraient pressés en plis sinueux, qui, dans le cas le plus simple, devraient se trouver emboîtés parallèlement les uns dans les autres; mais même en supposant, comme cela a lieu en réalité, que l'inégalité des résistances ait créé des sinuosités plus irrégulières, il n'en reste pas moins vrai que, pour chacune de ces sinuosités, le pli aurait été poussé du sud et de l'est, en même temps, à se renverser sur le synclinal qu'il enveloppe; ce qui correspondrait précisément à la règle tirée de l'observation.

Influence de la proximité du massif cristallin des Maures.

Mais il faut avouer que la forme du pli de Brignoles correspond assez mal à cette hypothèse. La boucle décrite par sa ligne directrice devrait se fermer du côté des Maures, et non du côté opposé. Sans doute, puisque les deux branches du pli se perdent également en approchant de la bordure permienne, on pourrait aussi bien supposer qu'elles se rejoignaient de ce côté; mais ce serait entrer de plus en plus dans la voie des hypothèses, sans pouvoir en espérer aucune conclusion certaine.

D'ailleurs, l'existence de la bande triasique de Saint-Maximin et de Barjols reste en tout cas inexpliquée; jusqu'à nouvel ordre, il semble impossible de la faire rentrer dans le schéma général des autres plis, qui tantôt viennent s'interrompre brusquement à son contact, tantôt au contraire viennent se raccorder avec elle. Il est inexpliqué que ceux des plis qu'elle interrompt d'un côté, reprennent symétriquement de l'autre côté, comme si les deux plis qui se font face n'en formaient qu'un, coupé en son milieu. L'hypothèse la plus probable semble celle d'un plissement postérieur, qui aurait superposé ses effets à ceux du plissement principal; mais, même en l'admettant, tant qu'on ne sera pas arrivé à faire la part et à tracer le rôle de cette seconde série d'actions mécaniques, le schéma des plis restera un simple *schéma de coordination,* propre surtout à montrer les complexités de la région et à grouper les descriptions, et il serait imprudent de vouloir en tirer des déductions théoriques trop précises.

Hypothèse d'un plissement postérieur, superposant ses effets à ceux du plissement principal.

La sinuosité des plis, telle qu'on l'observe en Provence, n'est d'ailleurs pas plus un fait isolé que ne le sont les grands déplacements horizontaux constatés dans la région. Plus les études de détail se multiplient dans les Alpes, plus la

généralité du fait semble se dégager; il faut attendre des données nouvelles et la comparaison de plus vastes régions pour essayer d'en préciser le rôle, les causes et les conséquences. Il suffit de signaler ici, en terminant, la localisation remarquable de tous ces phénomènes, des grands déplacements horizontaux aussi bien que de la torsion, réelle ou apparente, des plis : les uns comme les autres disparaissent, dès qu'on sort de l'équerre formée par les deux branches du massif des Maures; dans le massif des Martigues, à l'ouest, pas plus que dans celui d'Antibes, à l'est, on ne retrouve plus de complications analogues. Ce serait là, peut-être, un argument en faveur de l'hypothèse que j'ai sommairement indiquée tout à l'heure, celle d'une avancée inégale vers le nord des deux branches du massif cristallin.

Objections.

L'objection qu'on peut faire à cette explication, c'est que le mécanisme de ces déplacements horizontaux inégaux, plus ou moins profonds suivant les places, n'est pas encore facile à concevoir dans le détail; mais c'est un peu le cas des mouvements les plus certains et les moins contestés : si l'on y réfléchit, par exemple, l'agencement relatif des divers compartiments de l'écorce, dénivelés par des failles plus ou moins verticales, la manière dont chacun d'eux trouve sa nouvelle place sans laisser de vide entre ses voisins et lui, offre des difficultés à peu près aussi grandes. La Mécanique géologique est bien peu éclairée par notre expérience de la surface. Dans cet ordre d'idées complètement nouveau, il faut se contenter de dire que la possibilité de ces déplacements est prouvée par l'exemple de faits observés avec certitude, et pour aller plus loin il faut que de nouvelles observations, dirigées dans ce sens, aient précédé et puissent guider le raisonnement.

Conclusions relatives au mécanisme des déplacements horizontaux.

S'il est difficile d'aborder cette question des différences de déplacements horizontaux aux diverses profondeurs, on peut au moins maintenant se faire une idée du mécanisme des mouvements qui se produisent près de la surface. Le premier point sur lequel il faut insister, c'est l'amplitude inattendue de ces déplacements horizontaux; sans doute, ceux de quarante ou cent kilomètres ne sont encore que des hypothèses; mais ceux de quinze kilomètres sont bien prouvés, ceux de cinq et six kilomètres sont même fréquents.

« Quelque résigné qu'on soit, disai-je il y a trois ans, à faire bon marché de la cohésion des corps dans les grands bouleversements de l'écorce terrestre, en admettant même que les masses les plus résistantes ont pu se comporter comme des matières entièrement plastiques, on n'en a pas moins peine à concevoir ces grands plis couchés qui se déroulent, s'allongent, forment de larges traînées au-dessus des couches plus récentes et simulent de véritables *coulées* de terrains sédimentaires, rappelant presque les coulées du basalte (1). » Et pourtant, si

(1) *Bull. Soc. géol. de Fr.*, 3e série, t. XV, 1886-87, p. 702.

quelque doute a subsisté au début, les exemples se sont tellement multipliés, tant de preuves diverses et indépendantes se sont accumulées, sans compter les vérifications par les travaux de mines, qu'il faut bien admettre l'évidence des faits. On ne les aurait pas prévus, mais on est bien forcé de les constater.

On peut les considérer comme indépendants des plissements, ou comme formant une phase même du phénomène de plissement.

Deux opinions se sont fait jour sur le mécanisme de ces phénomènes : l'une, fondée sur l'étude du bassin houiller franco-belge, attribue aux failles un rôle prédominant, et admet que le glissement s'est fait suivant une ou deux surfaces de fracture bien déterminées; l'autre, au contraire, fondée sur l'étude des chaînes alpines, explique tout par les plissements, et ne voit dans les glissements horizontaux, avec ou sans suppression de couches, qu'une continuation et une exagération des mêmes phénomènes. J'ai expliqué que les failles des pays plissés n'ont, en général, rien de commun avec les failles dues à l'action de la pesanteur. Si on dégage le langage de la confusion causée par l'emploi du même mot, on voit que les deux opinions diffèrent peu l'une de l'autre; c'est, dans les deux cas, la même série de mouvements qu'il faut invoquer; seulement, dans le premier, on considère le glissement comme indépendant du plissement antérieur; dans le second, on y voit une phase même de la formation du pli.

Les faits décrits dans ce Mémoire permettent de trancher la question en faveur de la seconde hypothèse.

Si peu importante que puisse alors paraître la différence, les faits décrits dans ce Mémoire permettent, à mon avis, de trancher la question : tous les intermédiaires existent entre le cas où la surface de glissement est unique et nettement tranchée, et celui du pli avec simple étirement des couches; de plus, même dans le bassin houiller franco-belge, on a constaté que les couches supprimées par la surface de glissement reparaissaient progressivement en s'éloignant du centre de déversement (îlot de Landlies), et même que ces couches renversées se relevaient verticalement, comme en formant l'amorce d'une charnière anticlinale. L'existence d'un pli couché ne limite en rien, d'ailleurs, la durée du temps qui peut sembler nécessaire pour la production de ces mouvements; elle fournit, en tout cas, une explication schématique satisfaisante des faits observés; mais on peut aller plus loin et affirmer que le schéma du pli couché correspond bien à une réalité, au procédé même mis en œuvre par la nature.

Le pli apparaît de plus en plus comme la véritable unité structurale des chaînes.

Ce résultat est bien d'accord avec ceux qui se dégagent de plus en plus du progrès des études orogéniques; d'une manière générale, le pli apparaît comme la véritable unité structurale des chaînes. Des actions de refoulement peuvent faire naître dans une nappe horizontale des plis droits ou couchés, selon que les points d'application des forces sont placés ou non à la même hauteur; c'est ce que montre bien simplement la comparaison avec une feuille de papier ou de carton peu épais. Or, une fois qu'un pli horizontal s'est produit, et a amené en saillie une sorte de bourrelet au-dessus de la nappe primitive (*fig.* 131), les forces horizontales qui continuent à agir dans les couches superficielles ne peuvent avoir d'autre effet sur ce bourrelet que de le pousser en avant. Si la charnière synclinale, maintenue par les couches qu'elle englobe,

Un pli peut se produire sous forme de bourrelet vertical, ou de bourrelet horizontal.

Déroulement du bourrelet horizontal; allongement du pli si la charnière synclinale reste fixe.

reste fixe, et si le mouvement est assez lent et le bourrelet assez épais pour que les couches qui le forment ne se disloquent ni ne se fragmentent, le résultat sera

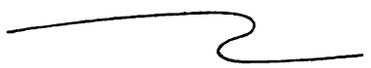


FIG. 131.

nécessairement un *allongement* du pli couché : les bancs qui en forment le flanc supérieur sont sans cesse amenés par la force qui continue à pousser en avant les couches superficielles; quant au flanc renversé, ce mouvement ne peut lui fournir de nouveaux matériaux; il reste constitué par les couches renversées du bourrelet primitif, et par conséquent, à mesure que le pli s'allonge, il faut que ces couches se répartissent sur un plus grand espace, c'est-à-dire qu'elles s'amincissent et s'étirent. L'étirement du flanc renversé, pouvant aller jusqu'à sa suppression totale, apparaît donc comme une condition nécessaire de la formation du pli couché, quand le déplacement horizontal est considérable.

La matière du flanc supérieur est sans cesse amenée par le refoulement horizontal. Mais le flanc inférieur reste toujours composé des mêmes matériaux, qui doivent se répartir sur un plus grand espace.

L'étirement du flanc renversé est donc une conséquence nécessaire.

En réalité, le phénomène ne se produit pas avec cette simplicité théorique : la charnière synclinale ne reste pas fixe, les parties qui sont au-dessous du bourrelet peuvent aussi se déplacer, mais inégalement, et le mouvement d'ensemble se compose ou s'accompagne d'une série de mouvements relatifs, dont il est impossible de prévoir le détail. C'est ici qu'il faut de nouveau faire intervenir les faits d'observation. Les surfaces des bancs sont à peu près parallèles aux forces agissantes, ce sont des surfaces de glissement facile, suivant lesquelles les glissements relatifs tendront d'abord à se produire; pour peu qu'ils leur deviennent légèrement obliques, ils auront pour résultat d'amincir ou de supprimer des couches; c'est donc dans ces amincissements et dans ces suppressions qu'on peut chercher et trouver la trace des déplacements relatifs. Nous avons vu que ces étirements atteignent leur maximum dans le flanc renversé, mais qu'ils sont aussi fréquents dans le flanc normal (suppression partielle des calcaires à silex, en Provence, amincissement de toute la série jurassique), et enfin qu'ils se rencontrent aussi dans le bassin synclinal recouvert par le pli couché (suppression des couches crétacées à Allauch, surfaces de glissement du Faron et du Coudon, suppression du Trias à Solliès et à Cuers, accident du Cannet-du-Luc, plans de poussée des Highlands). La production de ces glissements dans les bassins synclinaux est spécialement à prévoir quand ceux-ci sont suivis par un nouveau pli couché, au flanc supérieur duquel leurs couches ont dû fournir la matière; c'est bien, en effet, auprès de la bordure permienne que nous les avons rencontrés le plus souvent en Provence.

La charnière synclinale ne reste pas toujours fixe, et les parties inférieures peuvent aussi se déplacer.

Étirements constatés dans le flanc inférieur du synclinal, prouvant les glissements qui s'y sont produits.

Le déplacement possible de la charnière synclinale est bien mis en évidence par l'étude du massif d'Allauch : on voit là comment l'avancement inégal de cette charnière peut expliquer une partie des torsions brusques des plis. Mais le

Déplacement de la charnière synclinale mis en évidence dans le massif d'Allauch.

Le déplacement de la charnière synclinale implique la mise en mouvement de couches plus profondes de l'écorce.

fait le plus important, au point de vue de l'analyse des mouvements, c'est que le déplacement de cette charnière implique la mise en mouvement d'une tranche plus profonde de l'écorce, des couches *b* en même temps que des couches *a* (*fig.* 132). On est donc amené à étendre à cette tranche plus profonde, en général soustraite à l'observation, les conclusions établies pour la tranche supérieure, c'est-à-dire à admettre que des déplacements relatifs horizontaux, ou des glissements des bancs les uns sur les autres, ont pu également

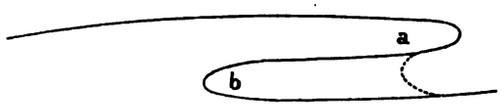


FIG. 132.

Cette mise en mouvement de couches plus ou moins profondes légitime l'hypothèse de l'avancement inégal des deux moitiés du massif des Maures.

Avancement inégal du massif cristallin des Alpes à l'est et à l'ouest du Rhin.

s'y produire. C'est ainsi que le substratum des masses de recouvrement des Highlands se trouve divisé par une série de plans de poussée distincts et à peu près parallèles. Ainsi se trouve légitimée l'hypothèse de l'avancement inégal du massif des Maures (tranche profonde) dans la région de Draguignan et dans celle de Toulon, hypothèse qui me semble seule pouvoir rendre compte de l'allure des plis de la Provence et de la règle qui régit leurs déversements. La différence de structure des Alpes à l'est et à l'ouest du Rhin s'expliquerait, de même, par une avancée inégale des masses cristallines.

Nous ne constatons à la surface qu'une *différence de déplacements*.

Cette série de mouvements relatifs, qui, jusqu'à une profondeur plus ou moins grande, accompagnent le mouvement d'ensemble, montre que nous ne constatons ordinairement à la surface qu'une différence de mouvements, la différence entre le mouvement de la masse superficielle et celui des terrains sur lesquels elle repose, et que par conséquent ces constatations nous donnent seulement une évaluation *minima* du véritable déplacement horizontal. De plus, on s'explique bien ainsi comment dans certains cas (la Bouissière, Peygros, Glaris), le substratum des masses de recouvrement peut être plissé, tandis que dans d'autres (le Beausset) il reste horizontal, sans que l'allure de la nappe de recouvrement en soit modifiée; c'est toujours la conséquence du mouvement indépendant des tranches successives, dont les coupes des Highlands, au lieu de rester mystérieuses et inexplicables, offriront maintenant l'exemple le plus instructif.

Nos évaluations sont donc toujours des minima.

Le mouvement indépendant des tranches successives explique que le substratum puisse être plissé, quand la nappe de recouvrement reste horizontale.

La nappe de recouvrement ne reste pas, elle non plus, toujours horizontale; il peut s'y produire (Croix de Solliés, Dent de Morcles, Glärnisch) des froissements secondaires, eux-mêmes quelquefois très importants, et qu'il faut évidemment considérer comme une conséquence directe de la mise en mouvement de ces masses. Comme ces masses amenées en saillie ne sont pressées et poussées que d'un côté, que de l'autre côté il n'y a pas de réaction ou de résistance équivalente, on est évidemment dans le cas (toujours en invoquant la compa-

Les plissements dans la nappe de recouvrement doivent se produire sous la forme de plis couchés.

raison avec la feuille de papier) où les froissements ou plissements doivent se produire horizontalement; c'est bien ce que confirme l'observation. Ces froissements devront surtout avoir tendance à se produire quand le point d'application des forces de poussée est placé plus haut, ou, ce qui revient à peu près au même, quand la masse est forcée de s'abaisser par un abaissement brusque ou lent du substratum. On peut remarquer que ce serait précisément le cas pour le Glärnisch, qui est le plus prodigieux parmi les exemples connus de ces froissements et empilements secondaires, du moins dans l'hypothèse qui réduirait à un pli unique les deux plis de M. Heim.

Termes simples auxquels se réduit le mécanisme des grands déplacements horizontaux.

Ainsi, *formation de plis horizontaux, déroulement de ces plis et glissement relatif, soit par tranches, soit par zones élémentaires, des parties mises en mouvement, avec propagation plus ou moins profonde de ces mouvements*, tels sont les termes simples auxquels se réduit le mécanisme des grands déplacements horizontaux, et qui semblent suffire à en expliquer toutes les complications secondaires. Il importe, en terminant, d'insister sur deux points : d'abord les déplacements *vrais* sont beaucoup plus considérables que les déplacements observés, et, en essayant de pousser plus loin l'analyse des phénomènes alpins, les hypothèses auxquelles on est conduit vont, non pas sans doute jusqu'à égaler les cent kilomètres de la Scandinavie, mais jusqu'à habituer l'esprit à leur possibilité. En second lieu, les glissements élémentaires bancs par bancs ont un résultat de la plus haute importance pour l'étude stratigraphique, c'est l'amincissement et la suppression des couches dans une série régulière et même horizontale; les bancs restants sont régulièrement superposés les uns aux autres, sans que rien trahisse à l'observation l'existence des phénomènes de glissement: quand l'attention n'était pas encore appelée sur ce sujet, on pouvait être amené à conclure soit à des failles, soit à des lacunes dans la sédimentation; c'est ce qui était plusieurs fois arrivé en Provence. Ces étirements indiquent seulement l'existence de plis couchés; mais le *réarrangement* des couches, de manière à produire l'illusion d'une série normale non dérangée, est certainement un des détails les plus remarquables de cette partie de la Mécanique terrestre.

Les déplacements *vrais* sont bien plus considérables que les déplacements observés.

Les glissements élémentaires, bancs par bancs, amènent l'amincissement et la suppression des couches.

Le *réarrangement* des couches après tous ces déplacements partiels produit l'illusion d'une série normale non dérangée.

Après ces conclusions, celles qui sont relatives à la théorie des refoulements latéraux et à leur rôle dans la formation des montagnes s'imposent d'elles-mêmes et sans nouveau développement. Ce sont bien certainement des forces horizontales qui ont produit les déplacements horizontaux décrits dans ce Mémoire, et la généralité de ces phénomènes, qui se retrouvent sur toute la longueur des chaînes, aussi bien les plus anciennes que les plus récentes, permet d'énoncer avec une complète certitude, et sans aucune restriction à sa généralité, le principe déjà admis par la plupart des géologues : ce sont les refoulements horizontaux qui ont formé les chaînes de montagnes.

Conclusions relatives à la théorie des refoulements latéraux.

Ces refoulements sont l'origine *démontrée* des chaînes de montagnes.

Les déplacements horizontaux sont superficiels et vont en s'atténuant en profondeur.

Mais notre étude nous permet d'aller plus loin : les déplacements horizontaux ne sont pas des déplacements en masse de l'écorce terrestre; ce sont des déplacements inégaux dans les couches plus ou moins profondes, et c'est parce que ces déplacements sont plus grands dans les couches superficielles que nous pouvons les constater. En d'autres termes, les refoulements atteignent leur action maximum à mesure qu'on se rapproche de la surface. Or, dans la théorie du refroidissement séculaire de notre planète, la couche superficielle, *qui ne se refroidit pas,* est celle qui a le plus à restreindre sa surface pour s'accommoder à ses nouvelles positions; c'est donc celle où doivent se développer les plus grandes compressions latérales. Dans toutes les autres théories qu'on a pu proposer, celle de la poussée des roches éruptives (Léopold de Buch), celle de l'ascension des isogéothermes (Mellard Reade), celle du glissement en masse de tranches superficielles après l'émersion (Reyer), c'est au contraire en s'éloignant de la surface que les compressions augmenteraient. Il y a là un argument nouveau, qui n'est pas sans valeur, et qui n'est pas inutile, puisqu'elle est est encore contestée, en faveur de la théorie du refroidissement.

Ce résultat est conforme à la théorie du refroidissement séculaire.

Il est en contradiction avec toutes les autres théories proposées.

Disparition complète de certains plis couchés par dénudation.

L'étude des plis couchés montre, en outre, que, quand la dénudation est suffisante, non seulement les nappes de recouvrement peuvent disparaître, mais encore le noyau anticlinal lui-même peut n'être représenté que par un léger bombement, faisant penser plutôt à une simple ondulation qu'à un grand plissement. Il faut, il est vrai, pour faire cette constatation, des exemples où, en même temps que le noyau est profondément dénudé, quelque partie des nappes charriées ait été conservée : la Dent de Morcles, la Dent du Midi, le Cannet-du-Luc nous ont fourni ces exemples. Si, à une profondeur assez faible, tout déplacement horizontal apparent, et même toute trace de plissement énergique a disparu, c'est évidemment que la cause du plissement, c'est-à-dire la poussée horizontale, cessait elle-même ou s'atténuait considérablement à cette profondeur. Ce n'est pas à dire, sans doute, que nulle part elle ne soit descendue plus bas; mais il y a là un indice sérieux tendant à montrer que *les plissements sont superficiels,* qu'ils affectent seulement une épaisseur bien inférieure à celle de ce qu'on est convenu d'appeler l'*écorce solide,* ou autrement dit, à celle à partir de laquelle est atteinte la température de fusion des roches. Cette conclusion tirée des observations est au fond, aux nombres près qui ne peuvent prétendre à aucune précision, celle que M. Davison a dégagée des calculs théoriques.

C'est un indice tendant à montrer que *les plissements sont superficiels.*

Conformité de cette conclusion avec les résultats du calcul.

Enfin, j'ai dit au début qu'on avait invoqué contre la théorie du refroidissement le désaccord entre le raccourcissement d'un grand cercle, déduit de l'observation, et le raccourcissement du rayon terrestre, déduit du calcul. On peut ne pas attacher une grande importance à ce désaccord, à cause de l'incertitude des données sur lesquelles est basé le calcul; mais de plus, comme je l'ai déjà dit et comme il importe de le répéter dans ces conclusions, les éva-

luations qu'on prétend déduire de l'observation et des coupes géologiques sont plus incertaines encore, et peut-être dans une plus large mesure. Ces évaluations supposent, en effet, qu'une couche déterminée conserve la même longueur avant et après le plissement; elles ne tiennent donc pas compte de l'étirement. Or, nous avons vu quelle est l'importance du facteur ainsi négligé. Par exemple, dans un pli couché dont le déroulement horizontal atteindrait 5^{km}, ces 5^{km} correspondent dans le dessin du pli à un triple retour des mêmes couches; il faudrait donc en inférer que les 5^{km} actuels correspondent à 15^{km} de la surface primitive. Mais le flanc renversé ne doit pas entrer en ligne de compte, car il n'est formé que d'une petite quantité de matière étalée sur une grande longueur; les 15^{km} devraient donc, de ce fait seul, se réduire à 10^{km}. De plus, dans le flanc supérieur, nous savons maintenant que la succession des couches est souvent incomplète; c'est-à-dire que, là encore, les glissements relatifs ont augmenté la longueur apparente de chaque couche de toute celle de ses suppressions partielles; en Provence, la fréquence avec laquelle on constate l'absence, dans ces nappes de recouvrement, de certaines couches facilement reconnaissables, telles que les calcaires à silex, montre que cette seconde correction est loin d'être négligeable. Enfin, il y a même souvent des glissements dans les couches du flanc inférieur, et leur influence agit dans le même sens. Il est impossible de préciser davantage, mais il serait très vraisemblable que dans bien des cas les 15^{km} de l'évaluation primitive dussent se réduire à moitié.

Une couche ne conserve pas la même longueur avant et après le plissement.

Sans doute, l'importance de ces étirements et de ces glissements relatifs, dans les plis renversés et surtout dans les plis droits, est bien moins considérable. Mais il y a de plus une autre considération, qu'a déjà fait ressortir M. de Lapparent, et à laquelle les développements précédents me semblent prêter un nouveau caractère d'évidence et une nouvelle force. Dans ces sortes d'évaluations, quand les couches ont été dénudées, on les rétablit par des contours fictifs, et ainsi, notamment pour les Alpes, on rétablit la succession des étages secondaires au-dessus du massif central. Or, il est très possible que les terrains secondaires aient recouvert le massif central des Alpes; mais, s'ils y manquent aujourd'hui, il est très probable que c'est par suite des glissements dont j'ai démontré la réalité dans les parties superficielles de l'écorce, et qui les ont fait descendre sur les flancs de la chaîne où nous les observons aujourd'hui. Les résultats exposés dans le Chapitre qui traite du versant méridional des Alpes (p. 208 et suiv.) me paraissent fournir de ces mouvements une preuve bien difficile à réfuter.

Les glissements superficiels ont dû faire descendre sur les flancs des chaînes les couches qui recouvraient le massif central.

J'ai montré, en effet, que le versant méridional des Alpes, dans la seule région où l'on peut l'observer, dans celle du Tyrol, est un pays de plis couchés, en dépit des apparences dominantes créées par la dénudation, et de *plis couchés vers le sud*. Il y a donc eu là un déplacement général des parties superficielles de l'écorce dans un sens opposé à ceux qui ont eu lieu sur l'autre versant.

Il serait difficile d'expliquer autrement que les plis des deux versants soient couchés en sens inverse.

Il faudrait autrement supposer une sorte de mouvement de chaîne sans fin, dont la possibilité n'est pas facile à concevoir.

Comment admettre qu'on ait le droit d'ajouter ces deux cheminements en sens inverse pour faire de leur somme la mesure du raccourcissement de l'arc? Il faudrait supposer que, par une sorte de mouvement de chaîne sans fin, les bancs aient d'abord été poussés souterrainement vers le nord, puis que, ramenés à la surface par la charnière synclinale, ils se soient repliés sur eux-mêmes, et qu'alors ils aient été poussés vers le sud par l'afflux toujours continué des parties souterraines charriées en sens inverse. Les flèches que les géologues suisses, à l'exemple de M. Heim, introduisent dans leurs schémas de plis couchés, semblent, en effet, montrer qu'ils admettent cette interprétation; mais rien dans les faits observés ne légitime une hypothèse aussi invraisemblable, et il me semble impossible d'imaginer quelle cause pourrait ainsi faire refluer vers le sud les bancs primitivement entraînés vers le nord. Les couches charriées vers le sud viennent du nord, c'est là l'évidence; l'ensemble de ces couches avait donc un emplacement plus septentrional, c'est-à-dire qu'elles recouvraient primitivement une partie au moins du massif central.

Pour ces raisons, tout essai d'évaluation du raccourcissement de l'emplacement d'une chaîne de montagnes n'est qu'une approximation grossière.

Il faut conclure de là que, tant que nous serons hors d'état de préciser le rôle des étirements et des glissements, tout essai d'évaluer le raccourcissement d'un grand cercle de la Terre, ou même celui de l'emplacement d'une chaîne de montagnes, n'aboutira qu'à une approximation grossière. Dans ces mouvements de l'écorce, les faits sont trop complexes pour qu'on puisse prendre le calcul fait sur une coupe déterminée comme une mesure même approchée de ceux qui seraient faits pour des coupes parallèles. Quand on songe qu'en forçant la couche sphérique superficielle à occuper une moindre surface, on amène certaines de ses parties à s'étaler sur un plus grand espace; quand on songe encore que les mêmes compressions peuvent faire naître des cheminements en sens inverse, il faut avouer que c'est une ambition un peu téméraire de prétendre déduire de la connaissance d'une seule ligne, fût-elle longue de 300 ou 400 kilomètres, le raccourcissement du rayon terrestre.

Tout désaccord apparent dans les évaluations du raccourcissement du rayon terrestre est sans importance.

Résumé.

En résumé, les résultats dont il faut se contenter, les seuls qui paraissent bien prouvés, sont les suivants :

Les montagnes sont des zones plissées de l'écorce terrestre. L'origine en est due à des refoulements horizontaux; la cause de ces refoulements horizontaux est le refroidissement de notre planète.

Les plissements, et par conséquent les forces de compression qui les produisent, restent limités aux couches superficielles; ils ne se font probablement sentir qu'à un petit nombre de kilomètres (sans qu'on puisse préciser ce nombre) au-dessous de la surface.

Les plissements ont été accompagnés de déplacements horizontaux, qui se sont effectués tantôt en masse, tantôt banc par banc, ou encore par tranches successives; l'amplitude de ces déplacements atteint certainement quinze kilo-

mètres, et l'on peut présumer qu'en bien des points elle a été beaucoup plus grande encore.

Malgré les différences locales des coupes, la nature et même l'importance des phénomènes produits paraissent avoir été les mêmes dans les chaînes d'âge différent, dans celles de la période primaire comme dans celles de la période tertiaire: il est impossible jusqu'ici de citer une particularité qui différencie les unes des autres, et qu'on puisse attribuer à l'état plus ou moins avancé du refroidissement terrestre.

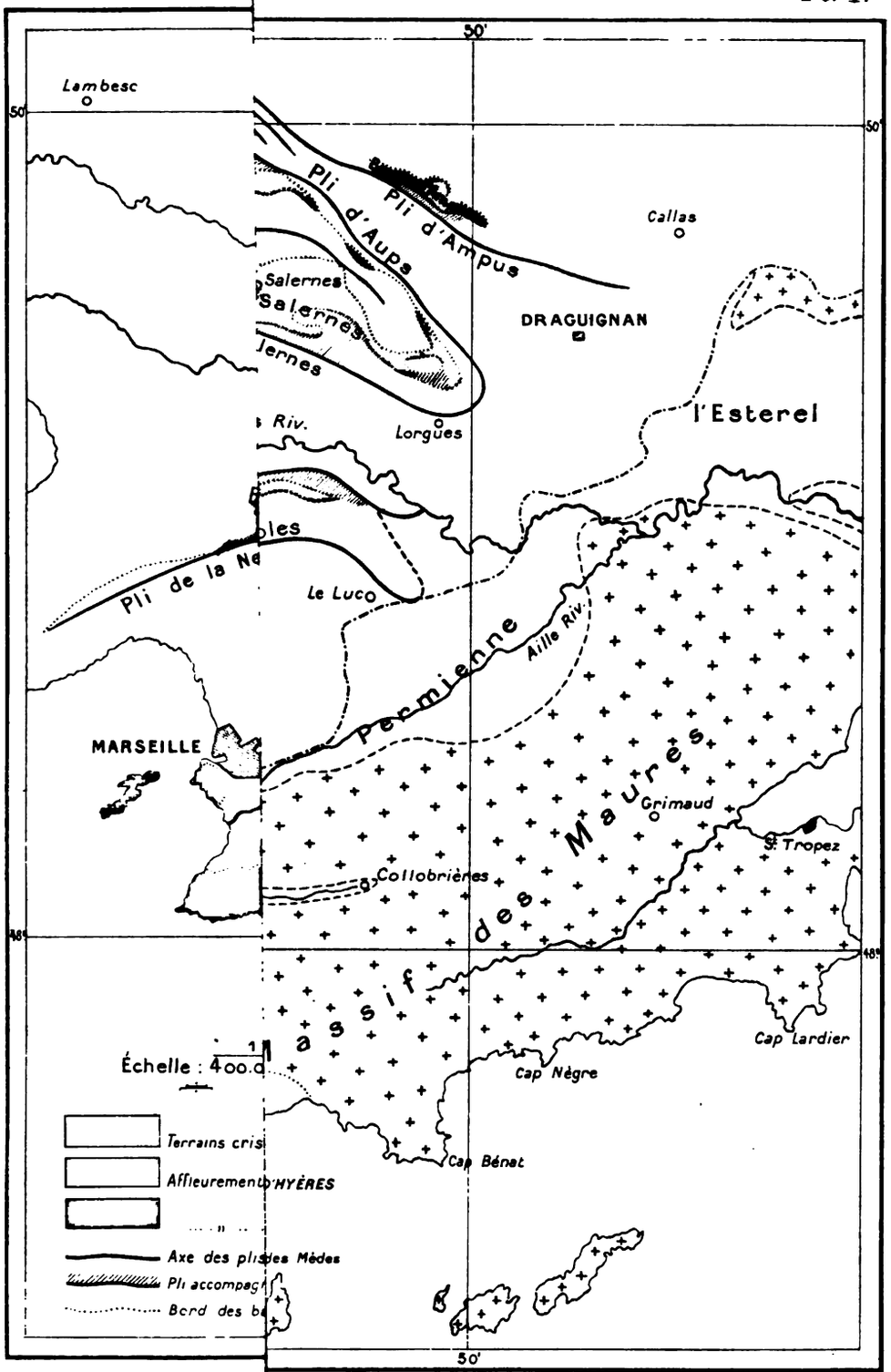

50'
Lambesc
Pli d'Aups
Pli d'Ampus
Callas
Salernes
DRAGUIGNAN
l'Esterel
Lorgues
Le Luco
Permienne
Aille Riv.
MARSEILLE
Grimaud
St. Tropez
Collobrières
des Maures
Cap Lardier
Cap Nègre
Cap Bénat
HYÈRES
Terrains cris
Affleurement
Axe des plis des Mèdes
Bord des bé
50'

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

AVANT-PROPOS 3

CHAPITRE PREMIER. — *Introduction* 13

CHAPITRE II. — *Aperçu historique* 19

CHAPITRE III. — *Généralités sur les plissements. Plis, plis-failles et plis couchés* 37

CHAPITRE IV. — *Les plis couchés de la Provence* 49

1° Bordure sédimentaire des Maures. Description générale 49
2° Le pli du Beausset 67
3° Le pli de la Sainte-Baume 94
4° Le massif d'Allauch et le pli de la Nerthe 118
5° Le pli de Brignoles 146
6° Le pli d'Esparron 157
7° Le pli de Salernes 165
8° Le pli d'Aups 177
9° Plis de Sainte-Victoire et de l'Olympe 179
10° Pli couché de la bordure des Maures 184

CHAPITRE V. — *Plis couchés des Pyrénées et des Alpes* 187

1° Versant septentrional des Pyrénées 188
2° Les Alpes Françaises 190
3° Alpes Suisses et Bavaroises 194
4° Plis couchés du versant méridional des Alpes 208
5° Plis couchés des Montagnes Rocheuses 212

CHAPITRE VI. — *Plis couchés des chaînes plus anciennes* 215

1° Plis couchés de la chaîne houillère (chaîne hercynienne) 216
2° Plis couchés de la chaîne silurienne (chaîne calédonienne) 225

CHAPITRE VII. — *Résumé et Conclusions* 236

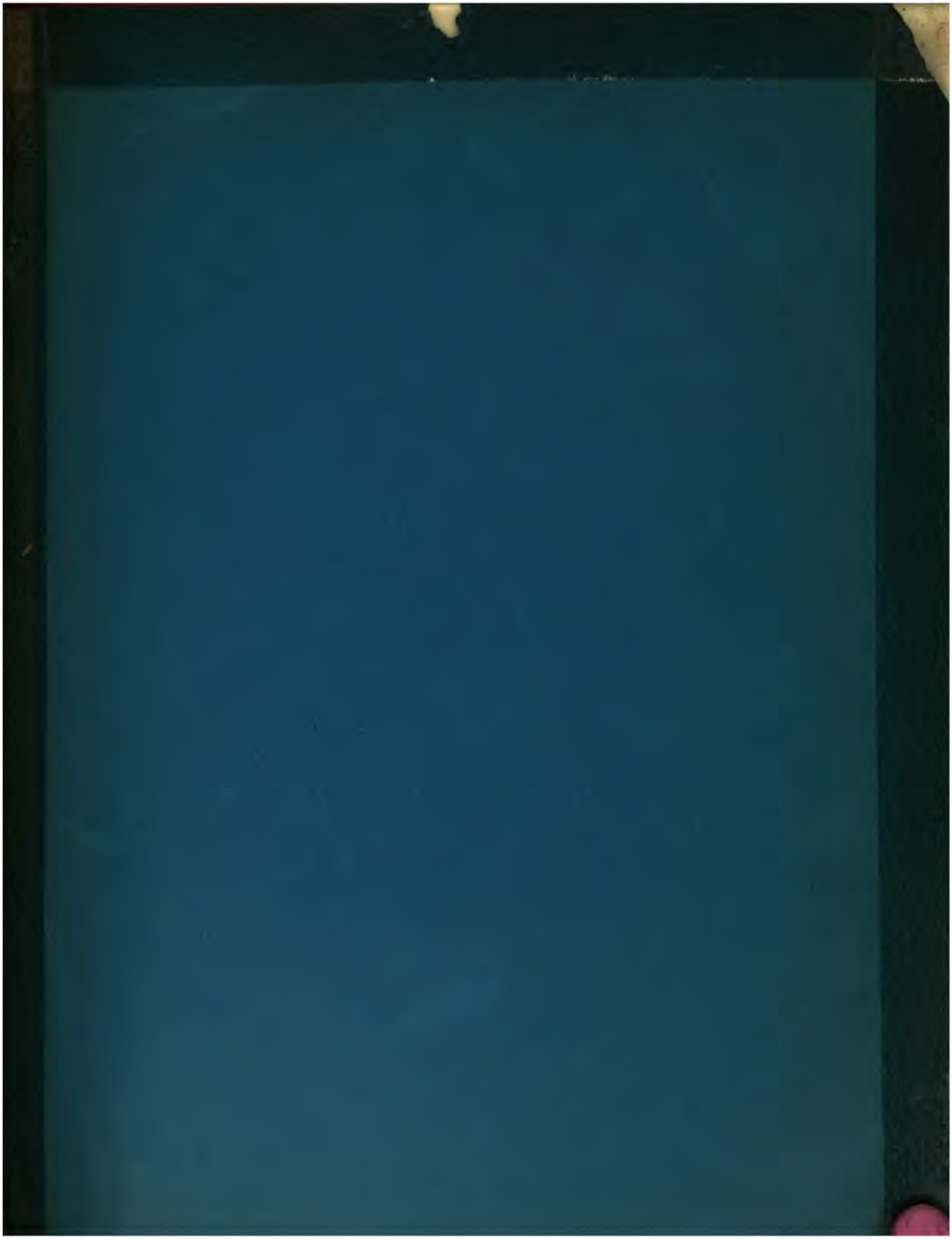
TABLE DES FIGURES.

(L'astérisque indique les figures originales.)

Figures.		Pages.
1	Plis droits ou symétriques	37
2	Plis déjetés sans renversement	38
3	Pli déjeté avec renversement	38
4	Pli couché	39
5	Pli étiré	41
6	Pli à flanc renversé réduit en lambeaux	41
7	Pli-faille	41
8	Décrochement horizontal	44
9	Décrochement avec déviation partielle des couches	44
10	Décrochement par inflexion	44
11*,12*	Schémas des types apparents de structure produits par la dénudation dans une série de plis couchés	55, 56
13*	Coupe du bassin d'affaissement de Chibron	62
14	Coupe des collines du Beausset, d'après A. Toucas	68
15	Coupe du Vieux-Beausset à Sainte-Anne et au Castellet	69
16	Répartition des terrains et des faciès dans le bassin du Beausset	71
17	Coupe du Canadeau	74
18	Coupe de la galerie de Fontanieu	75
19	Coupe du sommet du Grand Cerveau au Castellet	79
20	Coupe d'Entrechaux au Beausset	79
21	Coupe de Fontanieu à la colline du Castellet	81
22	Coupe du Télégraphe de la Cadière à la Cadière	81
23	Coupe schématique montrant la position du lambeau urgonien du Colombier	82
24	Falaise à l'est de la Pointe Grenier	85
25	Carte géologique des environs du Caoumé	87
26*	Coupe du sommet occidental du Caoumé	87
27	Coupe du Mont Caoumé	88
28	Coupe prise à la Source du Revest	88
29	Coupe du Mont Faron	90
30	Coupe médiane de la chaîne de la Sainte-Baume	95
31*	Coupe des calcaires à Hippurites à Giniez	98
32*	Coupe de la vallée de La Taille en amont des sources	99
33	Coupe de Saint-Zacharie à la Sainte-Baume, en partie d'après Coquand	102
34, 35	Coupes de Saint-Zacharie à la Sainte-Baume	103
36	Coupe relevée sur le chemin de Nans à la Sainte-Baume	105
37	Coupe du Ruisseau de la Taulère	105
38	Coupe du Pied de la Colle au Plan d'Aups	106
39*	Coupe de la bordure nord du massif de la Lare	108
40	Coupe prise le long du Ruisseau des Bosqs	108
41	Fin de la Chaîne de la Sainte-Baume	110

Figures.		Pages.
42	Coupe du Ravin de Saint-Pons	112
43	Coupe schématique d'un pli couché et progressivement étiré	112
44*	Schéma de la structure de la Sainte-Baume dans l'hypothèse d'un double pli	114
45*	Schéma de la structure de la Sainte-Baume dans l'hypothèse d'un pli unique	114
46	Schéma d'un pli couché	116
47*	Coupe des collines d'Allauch	123
48*	Coupe à l'est de Carlevan	124
49*	Coupe passant par Chapelette	125
50*	Coupe à l'est du Jas de Fontainebleau	125
51*	Coupe au nord de Lascours	125
52*	Coupe du Pic de Garlaban	127
53*	Coupe du Ravin des Cadets	130
54*	Coupe passant par les Mies	131
55*	Coupe du flanc est de la colline de Pichauris	132
56*	Coupe du chemin de l'Auberge à Pichauris	133
57*	Essai d'interprétation de la structure des collines de Pichauris	133
58*	Coupe du bord méridional du bassin de Fuveau près de Saint-Savournin	134
59*	Coupe des collines de Peipin	134
60*, 61*	Coupes schématiques montrant les deux solutions admissibles pour les collines qui ferment la boucle anticlinale d'Allauch	136
62*	Charnière synclinale immobile	139
63*	Charnière synclinale entraînée	139
64*	Coupe du massif d'Allauch à Roquevaire	141
65*	Coupe schématique du massif d'Allauch	142
66*	Coupe à l'ouest de Simiane	144
67*	Trias de Saint-Germain. Hypothèse d'un rebroussement du pli	145
68*	Trias de Saint-Germain. Hypothèse d'un recouvrement	145
69*	Coupe de l'îlot de la Galinière	145
70*	Rebroussement du pli de la Nerthe à la Galinière	146
71*	Coupe du Cannet-du-Luc	148
72*	Coupe du Thoronet	149
73*	Coupe théorique du pli dénudé du Cannet-du-Luc	149
74*	Coupe est-ouest du pli du Cannet	150
75	Coupe au sud de Bras	153
76*	Coupe de la branche nord du pli de Brignoles, par Doumet	154
77*	Coupe à Vins	155
78*	Coupe du pli de Brignoles à Peygros	156
79*	Coupe près de la ferme de Pilhaud	159
80*, 81*	Coupes des Coquithals au bassin d'Esparron	160
82*	Coupe prise au nord des Bellons	160
83*	Coupe à l'est de Pilhaud	161
84*, 85*	Coupes passant par l'Oratoire d'Esparron	162
86*	Coupe prise au sud d'Esparron	162
87*	Coupe passant par la Bastide de Valensole	163
88*	Coupe du lambeau de recouvrement de Laval	164
89	Carte du bassin crétacé de Salernes	165
90	Trois coupes prises sur la bordure méridionale du bassin de Salernes	167
91	Coupe du défilé de la Bouissière	169
92	Coupe schématique de l'extrémité du pli de Salernes	172
93	Coupe de la Croix de Solliès	173
94*	Coupe du vallon de Saint-Barnabé	174
95*, 96*	Rapports entre la bande crétacée de Salernes et celle de Rognette	175

Figures.		Pages.
97	Extrémité du pli couché à Barjols	176
98*	Coupe de l'îlot de Saint-Jean (bassin d'Aups)	178
99*	Coupe apparente du bord méridional du bassin de Fuveau	180
100*	Coupe passant par l'Oratoire Saint-Jean	182
101*	Coupe d'ensemble des trois grands plis de la Provence	183
102*	Coupe du bord des Corbières à la vallée de Saint-Paul-de-Fenouillet	189
103	Coupe passant par le Pic de Bugarach, en partie d'après Carez	190
104*	Coupe prise aux environs de Castellane	191
105	Schéma des coins calcaires de l'Oberland bernois, d'après Baltzer	196
106	Coupe des Alpes de Glaris, d'après Heim	198
107*	Coupe schématique des Alpes de Glaris, dans l'hypothèse d'un pli unique	198
108	Coupe du Glärnisch, d'après Baltzer	203
109	Coupe de la bordure des Alpes de Bavière, d'après C. W. Gümbel	205
110	Rochers triasiques dans le Flysch des Alpes de Bavière, d'après C. W. Gümbel	206
111	Coupe prise sur la rive orientale du Lac de Côme, d'après E. W. Benecke	211
112*	Disposition des couches triasiques aux environs de Regoledo (Lac de Côme)	211
113	Coupe dans les Montagnes Rocheuses canadiennes (Ghost River), d'après Mac Connell	213
114	Coupe dans les Montagnes Rocheuses canadiennes (Bow River), d'après Mac Connell	214
115	Coupe schématique du bassin d'Anzin, d'après Gosselet	217
116	Coupe théorique de la partie sud du bassin houiller de Mons (paquet du Boussu)	219
117	Coupe de la bure du Saint-Homme à Thulin, d'après Gosselet	219
118	Coupe de Fontaine-l'Évêque à Landlies, d'après Briart	220
119*	Interprétation de la coupe de Landlies	220
120	Coupe du bassin de Theux, d'après Gosselet	222
121	Coupe du bassin houiller de Stolberg (partie sud-ouest), d'après W. Schiffmann	222
122	Croquis géologique du bassin houiller de Stolberg, d'après W. Schiffmann	223
123	Coupe du bassin houiller de Stolberg (partie nord-est), d'après W. Schiffmann	223
124	Schéma de la structure des montagnes de l'Écosse	226
125	Coupe des Cromalt Hills, d'après A. Geikie	228
126	Coupe schématique montrant la disposition des plans de poussée dans les Highlands, d'après A. Geikie	228
127	Coupe de Glendhu, d'après A. Geikie	230
128	Structure imbriquée ou écailleuse, d'après Heim et de Margerie	230
129	Effet d'une pression relativement forte sur un prisme composé de couches de cire, d'après A. Daubrée	232
130	Production d'un système de deux failles parallèles, d'après A. Daubrée	232
131*	Formation d'un pli couché	255
132*	Déplacement de la charnière synclinale	256

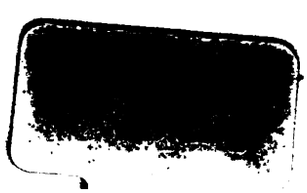


QE606 .B47 1908
Mémoire sur les refoulements qui on
Kummel Library
APP0288
3 2044 032 809 592

QE606 .B47 1908

Bertrand, Marcel

Mémoire sur les refoulements qui ont plissé l'écorce terrestre et sur le role des déplacements horizontaux

DATE DUE	BORROWER'S NAME

QE606 .B47 1908